RAPPORT de la commission d'enquête sur l'accident survenu le 20 janvier 1992 près du Mont Sainte-Odile (Bas Rhin) à l'Airbus A 320 immatriculé F-GGED exploité par la compagnie Air Inter

F-ED920120

AVERTISSEMENT

Ce rapport exprime les conclusions techniques auxquelles est parvenue la Commission d'Enquête sur les circonstances et les causes de cet accident. Conformément à l'Annexe 13 de la Convention relative à l'aviation civile internationale, l'analyse et les recommandations de sécurité formulées dans ce rapport ne visent pas à établir des fautes ou évaluer des responsabilités individuelles ou collectives. Leur unique objectif est de tirer de cet événement les enseignements susceptibles de prévenir de futurs accidents. Dans cette démarche, parce que le doute doit profiter à la sécurité, certaines des recommandations proposées concernent des points dont la démonstration rigoureuse n'a pas toujours pu être apportée, ou qui sont même parfois sans relation directe avec les causes de l'accident. De plus, cette analyse et ces recommandations sont formulées au terme d'investigations approfondies, et s'appuient donc sur une expérience et une compréhension des événements qui peuvent différer notablement de celles qui prévalaient au moment de l'accident. Enfin, bien que les personnes et organismes dont la consultation a été jugée opportune aient été invités à présenter leurs observations en temps utile, l'enquête n'a pas été menée de façon contradictoire. En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention des accidents pourrait conduire à des interprétations erronées.

SYNOPSIS

Date de l'accident

Lundi 20 janvier 1992

à 18h20 UTC(*)

Aéronef

AIRBUS A320

immatriculé F-GGED

Lieu de l'accident

Lieu-dit "La Bloss"

Commune de Barr (Bas-Rhin)

(près du Mont Sainte-Odile)

Propriétaire

DIA A.I. France LTD

7-2, YAESU 2-CHOME, CHUO-KU

TOKYO 104 JAPON

Nature du vol

Vol régulier

Transport public de passagers

Exploitant

Compagnie AIR INTER

Personnes à bord

2 PNT

4 PNC

90 passagers

Résumé

Lors d'une approche VORTAC effectuée de nuit et en conditions IMC vers la piste 05 à Strasbourg-Entzheim, l'avion percute le mont "La Bloss" au cours de sa descente vers la piste, à environ 800 mètres d'altitude et 10,5 milles nautiques du seuil de piste.

Conséquences

	Blessures			Matériel	Chargement	Tiers
	Mortelles	Graves	Légères			environ 1 ha de forêt détruit
Equipage	5	1		Détruit à 100%	Détruit à 100%	
Passagers	82	4	4			

ORGANISATION DES TRAVAUX

1 - CONSTITUTION DE LA COMMISSION D'ENQUETE

Par arrêtés des 21 et 27 janvier 1992, le ministre de l'équipement, du logement, des transports et de l'espace a institué une commission d'enquête pour étudier les circonstances, rechercher les causes et dégager les enseignements de l'accident survenu le 20 janvier 1992, sur le territoire de la commune de Barr (Bas-Rhin) à un avion de type Airbus A320 de la compagnie Air Inter.

La commission comprenait les membres suivants:

M. Alain Monnier, ingénieur général de l'aviation civile,Président

M. Paul Arslanian, chef du Bureau Enquêtes-Accidents,Vice-Président

M. Pierre Bernard, enquêteur technique au bureau enquêtes-accidents

M. Jean-Louis Chatelain, pilote de ligne, commandant de bord

M. Philippe Gourguechon, pilote inspecteur à l'Organisme du Contrôle en Vol

M. Michel Guillaume, conseiller d'Etat

M. le colonel Guy Lagrange, Chef d'état-major de la Direction de la circulation aérienne militaire

M. Dominique Marbouty, ingénieur général de la météorologie

M. le professeur Henri Marotte, médecin-chef du centre d'essais en vol

M. Jean Pariès, chef adjoint du Bureau Enquêtes-Accidents

M. Frédéric Rico, adjoint au directeur de navigation aérienne

M. Alain Tert, sous-directeur technique du cent d'essais en vol

Monsieur Jean Pariès membre de la Commission a assuré les fonctions de rapporteur général.

En application des dispositions de l'annexe 13 à la convention relative à l'aviation civile internationale, M. Robert M. MacIntosh, représentant accrédité des Etats-Unis au titre d'un Etat constructeur (moteurs), a été

associé aux travaux de la commission d'enquête.

2 - METHODE DE TRAVAIL

De sa première réunion tenue le 27 janvier 1992 à la remise de son rapport préliminaire le 20 février 1992, la commission d'enquête a travaillé en son sein pour procéder aux premières investigations et arrêter les termes de trois premières recommandations de sécurité présentées au Ministre avec le rapport préliminaire et reprises par la commission dans son rapport final (trois réunions tenues les 27 janvier, 10 février et 17 février 1992).

La commission d'enquête a ensuite créé dix groupes de travail composés d'experts de l'Administration, des contructeurs, de l'exploitant et des syndicats intéressés, pour préparer les éléments du chapitre I "Renseignements de base" de ce rapport et procéder aux analyses permettant notamment de décrire le scénario de l'accident.

Les groupes de travail, dont les rapporteurs étaient membres de la commission ou du bureau Enquêtes-Accidents ont conduit leurs investigations dans les domaines suivants:

- Equipage
- Conduite du vol
- Trajectographie 4D
- Questions relatives à la survie
- Systèmes propulsifs
- Renseignements sur l'aérodrome et sur les procédures d'approche
- Système avion et structure
- L'exploitant et la DGAC
- Systèmes de navigation et de pilotage
- Enregistreurs

Ces groupes ont travaillé dans le cadre d'un mandat écrit qui leur a été notifié par le président de la Commission d'enquête et en respectant l'engagement de stricte confidentialité qu'avait accepté de signer chacun de leurs membres.

Leurs travaux ont été particulièrement longs pour certains d'entre eux (Systèmes de navigation et de pilotage, conduite du vol) du fait, de la méthode exhaustive adoptée par la commission d'enquête vis à vis de l'étude de tous les générateurs possibles de cet accident, du nombre d'incidents qui ont été rapportés après cet événement et qu'il a été nécessaire d'étudier, de la difficulté des études et simulations auxquelles il a fallu procéder pour tenter de reconstituer le scénario de l'accident. Les travaux de ces groupes se sont terminés pour les deux derniers d'entre eux en début de l'année 1993.

Au fur et à mesure de leur avancement, la commission d'enquête a exploité les résultats de ces travaux pour préparer le chapitre I "Renseignements base" et la première partie du chapitre II "Analyse du scénario de l'accident" (six réunions tenues les 30 mars, 18 mai, 30 juillet, 8 octobre, 23 novembre 1992 et le 14 janvier 1993). La commission a ensuite développé l'analyse présentée au chapitre II du rapport et préparé les chapitre III - Conclusion - et IV - Recommandations - (cinq réunions tenues les 10 février, 17 mars, 8 avril, 13 mai et 3 juillet 1993).

Conformément aux dispositions de l'article 6 de l'arrêté du 3 novembre 1972 du Ministre des Transports, relatif aux commissions d'enquêtes sur les accidents et incidents d'aéronefs civils, le projet de rapport de la commission a été communiqué le 23 juin 1993 aux entreprises et autorités intéressées ainsi qu'aux organisations syndicales représentatives du personnel navigant concerné, pour observations à présenter avant le 31 juillet 1993. Les parties consultées ont été les suivantes :

. Direction générale de l'aviation civile

. Etat-Major de l'armée de l'air

. Direction de la sécurité civile (et Préfet du Bas-Rhin)

. M. Robert MacIntosh (NTSB)

. Air Inter

. Groupe Air France

. Airbus Industrie

. SNECMA (CFM international)

. Syndicat national des pilotes de ligne (SNPL)

. Union syndicale du personnel navigant technique (USPNT)

. Syndicat des pilotes d'Air Inter (SPIT)

. Syndicat national du personnel navigant de l'aéronautique civile (SNPNAC)

. Syndicat national du personnel navigant commercial (SNPNC)

Toutes les parties consultées ont répondu, la dernière réponse étant datée du 24 septembre 1993.

La commission d'enquête a exploité ces réponses, principalement à partir de rapports préparés par des groupes d'analyse choisis en son sein et portant sur les thèmes suivants de regroupement des observations présentées:

- niveau professionnel de l'équipage

- performances et historique réglementaire du GPWS

- certification du pilote automatique

- ergonomie du poste de pilotage de l'A320

- procédures de certification de l'ergonomie

- relations internes à l'équipage

- recherches et secours

- analyse de scénarios alternatifs

- spécificités d'Air Inter

- organisation de la tutelle

- retour d'expérience

- procédures de circulation aérienne et guidage radar

Les délibérations de la commission sur les réponses à cette consultation ont donné lieu à trois séances de travail qui se sont tenues les 9 septembre, 24 septembre et 13 octobre 1993. La mise au point du rapport final a été effectuée par la commission en une session de deux jours tenue les 9 et 10 novembre 1993. Après relecture et ultimes corrections, ce rapport a été approuvé à l'unanimité et signé par chacun des membres de

la commission le 26 novembre 1993.

SECTION 1 RENSEIGNEMENTS DE BASE

CHAPITRE 1.1 Déroulement du vol

Le 20 janvier 1992, l'Airbus A320 immatriculé F-GGED, exploité par la compagnie Air Inter effectue de nuit la liaison régulière entre Lyon-Satolas et Strasbourg-Entzheim sous indicatif radio ITF 148 DA. Le décollage de Lyon a lieu vers 17h20mn avec 90 passagers, 2 membres d'équipage technique et 4 membres d'équipage commercial.

Le vol s'effectue sans qu'aucun problème ne soit signalé par l'équipage. La piste en service à Strasbourg-Entzheim est la 05. Après avoir écouté les informations de l'ATIS, l'équipage prévoit d'effectuer une procédure d'approche ILS pour la piste 23, suivie d'évolutions à vue pour un atterrissage en piste 05.

Avant de transférer l'avion à l'organisme de contrôle d'approche de Strasbourg, le Centre Régional de la Navigation Aérienne (CRNA) Est de Reims l'autorise à descendre au niveau de vol 70 vers le point ANDLO (voir annexe 6).

A 18h09mn, le contact est établi avec le contrôle d'approche de Strasbourg. L'avion a croisé le niveau de vol 150 en descente et sa distance au VOR STR est d'environ 22 milles nautiques. Le contrôle de Strasbourg l'autorise à poursuivre sa descente vers l'altitude de 5000 pieds QNH, puis, après qu'il ait annoncé son passage d'ANDLO, l'autorise à une approche VOR-DME pour la piste 05.

Cependant, compte tenu de l'altitude et de la vitesse de l'avion, la procédure d'approche directe n'est plus réalisable, et l'équipage signale au contrôle son intention d'effectuer une procédure ILS 23 suivie d'évolutions à vue pour la piste 05. Le contrôle l'avertit que ce choix lui imposera une attente, car trois avions sont en instance de décollage, de la piste 05, sous plan de vol IFR. L'équipage adapte alors sa stratégie, et avise le contrôle qu'il effectuera une procédure complète VOR-DME pour la piste 05.

Le contrôle propose alors un guidage radar pour le ramener vers ANDLO en écourtant la procédure d'approche. L'avion est à quelques secondes du VOR STR. L'équipage accepte et effectue les évolutions que lui indique le contrôleur: virage à gauche vers le cap 230 pour un éloignement parallèle à l'axe de percée, puis virage de retour vers le point ANDLO.

A 18h19mn le contrôleur informe l'équipage que l'avion se trouve au travers du point ANDLO et l'autorise à l'approche finale. L'avion débute alors sa descente, sensiblement à la distance prévue par la procédure d'approche, soit 11 milles nautiques du VOR STR. Trente secondes plus tard le contrôleur demande à l'équipage de rappeler à la verticale de STR. L'équipage accuse réception. C'est le dernier contact avec l'avion.

L'épave est retrouvée, à 22h35mn, sur un versant du mont "La Bloss" à une altitude topographique voisine de 800 mètres (2620 pieds), à environ 0,8 mille nautique (1500 m) à gauche de l'axe d'approche et à 10,5 milles nautiques (19,5 km) du seuil de piste.

CHAPITRE 1.2. Tués et blessés

Blessures	*Membres d'équipage*	*Passagers*
Mortelles	*5*	*82*
Graves	*1*	*4*
Légères/Aucune		*4*

CHAPITRE 1.3. Dommages à l'aéronef

L'aéronef est entièrement détruit.

CHAPITRE 1.4. Autres dommages

La cargaison est entièrement détruite. Environ un hectare de forêt est détruit.

CHAPITRE 1.5. Renseignements sur le personnel

Note préliminaire:
L'arrêté du 5 novembre 1987 définit l'équipage comme l'ensemble des personnes embarquées pour le service de l'avion en vol, c'est à dire l'équipage de conduite et les personnels des services complémentaires de bord.Cependant, dans le but d'abréger l'écriture, la commission a, sauf mention contraire, utilisé pour le présent rapport le terme "équipage" dans une acception réduite à l'équipage de conduite.

15.1 - Personnel navigant technique

L'équipage technique comprenait, conformément aux règles d'utilisation de l'avion, deux pilotes, l'un commandant de bord, l'autre copilote. Pour le vol de l'accident, le pilote en fonction (PF) était le commandant de bord, le copilote assurant les tâches dévolues au pilote non en fonction (PNF).

Note: les notions de PF et PNF renvoient à un principe de répartition des tâches classique dans les compagnies aériennes. Le PF prend en charge le pilotage de la trajectoire et la navigation. Le PNF effectue les changements de configuration et gère les télécommunications.

15.11 - Commandant de bord

Homme, 42 ans.
Employé à la Compagnie Air Inter depuis le 7 juillet 1979.

15.111 - Brevets et licences

- Brevet et licence de Pilote Professionnel (PP) n° 5009 du 21 septembre 1973
- Brevet et licence de Pilote Professionnel de Première Classe (PP1) n° 3261 du 03 janvier 1977
- Brevet de Pilote de Ligne n° 2967 du 19 juin 1985, licence correspondante validée jusqu'au 30 juin 1992.

Dernière visite médicale passée le 10 septembre 1991 devant le centre principal d'expertise médicale du personnel navigant (CPEMPN) de Paris. L'étude du dossier médical n'a pas mis en évidence d'éléments susceptibles d'avoir eu une influence sur l'accident.

15.112 - Qualifications

- qualification de vol aux instruments (IFR) du 26 octobre 1973
- qualification de radiotéléphonie internationale (QRI) du 24 mars 1976
- qualifications de type: F27 en septembre 1979 ; SE212 en mars 1983 ; A300 en août 1987 ; A320 le 9 septembre 1991.

15.113- Expérience

Nombre d'heures de vol (temps du vol de l'accident non compris):

- nombre d'heures total: 8806h dont 162h sur A320;

- dans les 90 derniers jours: 112h toutes sur A320;

- dans les 30 derniers jours: 38h toutes sur A320;

- dans les 24 dernières heures: 3h30 toutes sur A320;

Expérience du trajet Lyon-Strasbourg et de l'aérodrome:

La pratique du réseau Air Inter sur Fokker 27 et sur Caravelle, et les vols effectués sur A320 ont fourni à ce pilote plusieurs occasions de fréquenter l'aérodrome de Strasbourg et la ligne Lyon-Strasbourg.

En ce qui concerne plus particulièrement l'expérience acquise sur A320, la commission a examiné un événement que ce pilote avait rapporté au mois de décembre 1991. Le 4 décembre 1991, lors d'une interception de niveau en descente, l'A320 F-GHQJ qu'il pilotait était en mode IDLE/ OPEN DESCENT, en phase d'interception de l'altitude sélectée. Tout d'abord nominale, la vitesse verticale a augmenté vers -5000 ft/mn. Le pilote a alors décidé d'engager une ressource en surpassant le pilote automatique, de façon à stabiliser l'avion à l'altitude autorisée. L'analyse effectuée par la compagnie et le constructeur n'a pas permis d'expliquer cet événement. Les deux hypothèses retenues reposaient sur l'influence d'un phénomène de cisaillement de vent (windshear) et sur celle d'une action du pilote sur les aérofreins.

15.114 - Carrière aéronautique

A l'issue de sa formation PP/IFR, avec environ 450h de vol, il débute dans la profession de pilote sur monomoteur et bimoteur léger en Afrique, et acquiert de l'expérience dans ce contexte particulier.

Le stage PP1 est effectué d'août 1976 à janvier 1977.

Du fait de son inexpérience du travail en équipage et de sa faible pratique du vol en régime IFR, liées à sa pratique du vol en Afrique sur monomoteurs et bimoteurs légers, le pilote a effectué, de sa propre initiative, un stage de préparation au PP1. Malgré cette précaution, lors du stage PP1, il a dû recevoir un supplément de formation. Il a néanmoins échoué lors de sa première présentation au PP1. Après un nouveau complément de 5 heures de formation, il a obtenu son PP1 à la deuxième présentation.

Après l'obtention de son brevet de PP1, ce pilote vole à nouveau en Afrique sans pouvoir mettre en pratique sa formation au travail en équipage. Il rentre d'Afrique en janvier 1978 et entre à Air Inter en juin 1979. Il est lâché en ligne sur Fokker F27 en octobre 1979. Il entre en stage Caravelle SE212 en mars 1983. Son niveau est jugé satisfaisant et son travail de bonne qualité durant ce stage.

Sa formation de pilote de ligne débute en septembre 1984. Après quelques difficultés initiales puis des progrès importants il passe l'examen avec succès à la première présentation.

Il poursuit sa carrière comme copilote sur A300 de juillet 1987 jusqu'à son accession au statut de commandant de bord.

Il effectue en 1988 un stage commandant de bord de très bon niveau et est lâché en ligne comme commandant de bord sur SE212 le 9 mai 1988.

Après un stage de qualification de type A320 au cours duquel il est jugé au-dessus du standard, il devient commandant de bord sur cet avion le 8 octobre 1991.

Le 2O décembre 1989, il a fait l'objet d'une sanction disciplinaire avec sursis pour avoir atterri par erreur sur une piste fermée de l'aérodrome de Toulouse. Le dossier fait état de plusieurs circonstances atténuantes. Cette sanction est la seule dans sa carrière d'environ 19 ans.

On remarque que ce pilote a eu au cours de sa carrière aéronautique un besoin d'instruction souvent supérieur à ce que prévoient les programmes de formation. L'expérience acquise en Afrique et le peu de formation structurée reçue dans son apprentissage initial expliquent la nécessité de certaines mises à niveau.

Cependant, à partir de l'obtention du brevet de pilote de ligne, ce pilote s'affirme, et dans le cadre d'une compagnie structurée, son application et ses qualités professionnelles prennent le dessus sur les lacunes de sa formation initiale. Il assimile, tardivement dans son cursus professionnel, mais efficacement et en confiance, les différentes méthodes de travail en équipage dans le transport public.

Les témoignages de ses collègues et de ses instructeurs, et les observations qui figurent sur son dossier professionnel font apparaître le commandant de bord comme un professionnel appliqué. Ils montrent qu'il s'agit d'un homme réservé, calme, prudent, hésitant à s'engager sans avoir bien compris la situation. Ce côté

attentif, prudent, parfois même perfectionniste, lié à une certaine lenteur, le conduirait à privilégier la préparation bien réfléchie du vol sur des improvisations de dernière minute, où il pourrait se sentir plus vulnérable.

15.115 - Conditions de travail

Ses conditions de travail pendant le mois précédant l'accident ont été conformes à la réglementation en vigueur.

15.12 - Copilote

Homme, 37 ans.

Employé à la Compagnie Air Inter depuis le 9 mars 1990.

15.121- Brevets et licences

- Brevet et licence de Pilote Professionnel (PP) n° 8104 du 1er octobre 1979

- Brevet et licence de Pilote Professionnel de Première Classe (PP1) n° 4592 du 28 juillet 1987, licencecorrespondante validée jusqu'au 30 septembre 1992.

Dernière visite médicale passée le 25 septembre 1991devant le centre d'expertise médicale du personnelnavigant (CEMPN) de Marseille.

15.122 - Qualifications

- qualification d'instructeur pilote privé avion (ITT) du 21 mai 1981

- qualification de radiotéléphonie internationale (QRI) du 10 septembre 1980

- qualification de vol aux instruments (IFR) du 15 septembre 1980

- qualifications de type : DA01 le 7 juin 1990 ; A320 le 30 novembre 1991.

15.123 - Expérience

Nombre d'heures de vol (temps du vol de l'accident non compris):

- nombre d'heures total: 3615h dont 61h sur A320 ;

- dans les 90 derniers jours: 61h toutes sur A320;

- dans les 30 derniers jours: 40h toutes sur A320;

- dans les 24 dernières heures: 1h sur A320 ;

Expérience du trajet Lyon-Strasbourg et de l'aérodrome :

La pratique du réseau Air Inter sur Mercure et les vols effectués sur A320 ont fourni à ce pilote plusieurs occasions de fréquenter l'aérodrome de Strasbourg et la ligne Lyon-Strasbourg.

15.124 - Carrière aéronautique

Le copilote est un passionné d'aviation, qui commence à voler à l'âge de 17 ans et obtient son brevet de pilote privé en février 1974, à l'âge de 19 ans. Cette même année, il entame une carrière d'instituteur, qu'il

abandonnera 12 ans plus tard, en 1986. Pendant toute cette période, il consacre la plus grande partie de son temps libre et de ses moyens à l'aviation.

Il obtient son brevet de pilote professionnel en 1979 et totalise à cette date environ 300h de vol. L'année suivante, il obtient la qualification IFR après un stage effectué pendant les vacances scolaires, et l'année suivante encore, il obtient la qualification d'Instructeur de pilote privé avion. Ceci lui permet d'exercer la fonction d'instructeur bénévole, et d'effectuer 800h de vol.

En janvier 1986, il quitte son poste d'enseignant et est engagé comme chef-pilote de son aéro-club. Il échoue deux fois à l'évaluation PP1. Ces échecs sont liés à sa très faible pratique du vol en régime IFR entre l'obtention de sa qualification IFR et ces évaluations. Après une solide préparation personnelle qui représente certainement un gros effort pour l'intéressé, compte tenu de sa faible expérience antérieure (essentiellement vol à vue sur avion monomoteur), il réussit cette évaluation. Il obtient le PP1 à la première présentation.

En novembre 1987, il est embauché comme copilote sur F27 par une société de transport à la demande, et il est promu commandant de bord en juin 1988. Il entre à Air Inter le 8 mars 1990. Après un stage de qualification de type sur Mercure, il est qualifié le 7 juin 1990 et confirmé dans sa fonction le 6 décembre 1990 après trois contrôles satisfaisants. Il entre en stage de qualification A320 en octobre 1991 et ne rencontre pas de difficulté particulière. Il est lâché en ligne le 26 décembre 1991.

On peut noter que ce pilote n'a jamais subi d'échec à partir du moment où des stages de formation structurés lui ont permis de tirer le bénéfice de sa capacité de travail. Une restitution trop "scolaire" lui a été reprochée en début de carrière, qui s'explique par une expérience professionnelle et IFR pratiquement nulle jusqu'à l'obtention du PP1. Une fois incorporé dans un contexte structuré, il se comporte comme un pilote moyen, sans habileté exceptionnelle ni défaut marquant.

Les témoignages de ses collègues et de ses instructeurs, et les observations qui figurent sur son dossier professionnel font apparaître le copilote comme un homme assez expansif, rompu à la relation humaine et à l'évaluation des autres (de par son précédent métier). C'est un bon professionnel, à l'aise dans le milieu, bien intégré, probablement fier de sa reconversion. Travailleur, il est relativement sûr de ses qualités et capable de reconnaître ses lacunes, de s'en méfier, et de les combler. Les témoignages des personnes qui l'ont connu depuis son arrivée à Air Inter montrent qu'il prend progressivement de l'aisance dans sa carrière de pilote.

C'est une personnalité affirmée, mais qui peut dans certains cas apparaître un peu condescendante vis-à-vis des personnes qu'il estime moins rapides que lui à comprendre.

15.125 - Conditions de travail

Ses conditions de travail pendant le mois précédant l'accident ont été conformes à la réglementation en vigueur, y compris pendant les dernières 48 heures, où il était en repos.

15.13 - Maintien et contrôle des compétences

En 1990 et 1991 les entraînements et contrôles périodiques des deux pilotes ont été conformes à la réglementation quant à leur échelonnement dans le temps et ont donné lieu à des appréciations de niveau professionnel favorables : il n'y a pas de critique particulière ni de remise en cause.

15.14 - Etude des qualifications A320 de l'équipage

Note: une présentation plus détaillée des programmes de qualification de type figure au § 17.23

Suivi par les deux pilotes, le stage de qualification de type A320 a été précédé du stage "Avions nouveaux" qui est un stage d'information sur les technologies nouvelles utilisées sur les avions modernes.

Ce stage de qualification de type a été conforme au programme approuvé par la DGAC. En particulier, deux approches classiques ont été faites sur simulateur. Il a donné lieu à une appréciation globalement satisfaisante pour les deux pilotes. Il a été toutefois reproché au copilote de trop intervenir dans le déroulement du vol. Même si souvent, ses interventions étaient techniquement justifiées, sa tendance à trop "materner" le

commandant de bord a été jugée préjudiciable au bon déroulement des vols.

Le stage de qualification de type a été suivi du stage "complément technique".

L'adaptation en ligne A320 a été conforme au programme d'entraînement déposé par Air Inter. En particulier des approches classiques (VOR, VOR-DME, ILS sans GLIDE, ADF) ont été effectuées, trois pour le commandant de bord et quatre pour le copilote. Les appréciations de synthèse font état d'un bon niveau de compétence. Une restriction apparaît toutefois dans le jugement de l'instructeur d'adaptation en ligne sur la rigueur du copilote vis-à-vis de certaines procédures.

15.2 - Personnel navigant commercial

Conformément à la réglementation applicable, l'équipage commercial comportait quatre personnes.

15.21 - Chef de Cabine

Femme, 44 ans;

Certificat de Sécurité Sauvetage n° 7192 du 19 avril 1974

Attestation de spécialisation A320 du 14 décembre 1991

Dernière visite médicale passée le 23 mai 1991 devant le CPEMPN de Paris.

15.22 - Steward

Homme, 29 ans;

Certificat de Sécurité Sauvetage n° 13021 du 17 juillet 1986

Attestation de spécialisation A320 du 9 janvier 1989

Dernière visite médicale passée le 13 janvier 1992 devant le CPEMPN de Paris.

15.23 - Hôtesse

Femme, 25 ans;

Certificat de Sécurité Sauvetage n° 19937 du 17 septembre 1990

Attestation de spécialisation A320 du 20 mars 1991

Dernière visite médicale passée le 17 décembre 1990 devant le CPEMPN de Paris.

15.24 - Hôtesse

Femme, 27 ans;

Certificat de Sécurité Sauvetage n° 14756 du 06 septembre1988

Attestation de spécialisation A320 du 16 novembre 1988

Dernière visite médicale passée le 17 mai 1991 devant le CPEMPN de Paris.

15.25 - Maintien et contrôle des compétences

Les entraînements et contrôles périodiques des personnels des services complémentaires de bord ont été conformes à la réglementation en vigueur.

15.3 - Personnel du Contrôle Local d'Aérodrome (CLA) de Strasbourg

Le contrôle d'approche était assuré à partir de la vigie d'où étaient également assurés le contrôle de la circulation au sol et le contrôle de la circulation dans le circuit d'aérodrome. Trois contrôleurs étaient présents pour assurer ces fonctions :

15.31 - Le Chef de quart, contrôleur d'approche

Homme, 36 ans, militaire de carrière

Affecté à Strasbourg depuis septembre 1985

Première affectation : aérodrome de Mont-de-Marsan de janvier 1977 à septembre 1985

Qualification contrôleur opérationnel le 27 janvier 1978

Qualification premier contrôleur le 1er janvier 1981

Qualifié "maître contrôleur" en juillet 1986

Nommé chef de quart en 1989

15.311 - Formation

- à l'Ecole Nationale de l'Aviation Civile (ENAC) :

. Stage de formation de contrôleur de la circulation aérienne de septembre 1976 à décembre 1976 ;

. Stage de formation de premier contrôleur de la circulation aérienne de mai 1984 à juin 1984.
- interne :

. Formation continue spécifique.

15.312 - Expérience

. 6146 heures de tenue de poste en vigie ;

. 19583 mouvements d'aéronefs traités en approche dont environ 6500 mouvements d'aéronefs civils.

15.313- Activités professionnelles dans la semaine précédant l'accident

. neuf heures de présence le 14 janvier 1992,

. treize heures de présence le 16 janvier 1992.

. huit heures vingt minutes de présence le jour et à l'heure de l'accident.

. Fonctions assurées dans l'heure précédant celle de l'accident : chef de quart et contrôle d'Approche.

15.314 - Aptitude médicale

. Dernière visite au CEMPN de Metz le 27 juin 1991.

. Apte 2 ans.

15.32- Le contrôleur tour

Homme, 25 ans, militaire de carrière

En première affectation à Strasbourg depuis septembre 1986

Qualification premier contrôleur le 1er décembre 1990

15.321- Formation

. Ecole des contrôleurs militaires de Mont-de-Marsan de mars 1986 à septembre 1986 ;

. Formation continue spécifique.

15.322 - Expérience

. 5063 heures de tenue de poste en vigie ;

. 3300 mouvements d'aéronefs traités en approche dont environ 1400 mouvements d'aéronefs civils.

15.323 - Activités professionnelles dans la semaine précédant l'accident

. Neuf heures de présence le 14 janvier 1992

. Neuf heures de présence le 16 janvier 1992.

. Dix heures vingt minutes de présence le jour et à l'heure de l'accident.

. Fonctions assurées dans l'heure précédant celle de l'accident: contrôleur Tour.

15.324 - Aptitude médicale

. Dernière visite au CEMPN de Metz le 15 octobre 1991.

. Apte 2 ans.

15.33 - Contrôleur sol

Homme, 24 ans, militaire de carrière ;

En première affectation à Strasbourg, depuis février 1989

Qualifié contrôleur opérationnel depuis octobre 1989;

15.331 - Formation

. Ecole des contrôleurs militaires de Mont-de-Marsan de septembre 1988 à février 1989

. Formation continue spécifique.

15.332 - Expérience

. 1800 heures de tenue de poste en vigie ;

. 869 mouvements traités en approche dont environ 300 aéronefs civils ; 1019 mouvements traités en approche finale et 339 surveillances d'approche ILS.

15.333 - Activités professionnelles dans la semaine précédant l'accident

. Neuf heures de présence le 14 janvier 1992 ;

. Neuf heures de présence le 16 janvier 1992.

. Dix heures vingt minutes de présence le jour et à l'heure de l'accident.

. Fonctions assurées dans l'heure précédant celle de l'accident : contrôleur "Sol".

15.334 - Aptitude médicale

. Dernière visite au CEMPN de Metz le 15 janvier 1992;

. Apte 2 ans.

CHAPITRE 1.6. Renseignements sur l'aéronef

16.1 - Cellule.

- Constructeur : AIRBUS INDUSTRIE

- Type : A320-111

- Numéro de série: 015

- Immatriculation: F-GGED

- Certificat d'immatriculation: B20275 du 23 décembre 1988

- Utilisation:

. depuis fabrication : 6316 heures, 7194 cycles

. depuis la dernière révision générale le 12 octobre 1991: 521 heures

16.2 - Moteurs.

- Constructeur: moteurs construits en coopération par General Electric et SNECMA et commercialisés par leur société commune CFMI

- Type: CFM56-5-A1

- Numéros de série:

. gauche: 731 123

. droit: 731 132

- Heures et cycles de fonctionnement au moment de l'accident:

. gauche: 4448 heures 5129 cycles

. droit: 5412 heures 6229 cycles

- Heures et cycles de fonctionnement depuis leur montage sur le F-GGED:

. gauche (26 juillet 1991): 869 heures, 1023 cycles.

. droit (10 mai 1990) : 3433 heures, 3877 cycles.

16.3 - Equipements

L'examen de la documentation concernant l'équipement de l'avion n'a pas mis en évidence d'écart par rapport

aux règlements français applicables aux avions exploités en transport public.

Comme les autres A320 d'Air Inter à la date de l'accident, l'avion n'était pas équipé de GPWS. La réglementation française n'imposait pas l'emport de cet équipement.

L'avion était équipé d'un Head Up Display (HUD) en place gauche.

L'avion était relié à la compagnie par le système ACARS qui permet la transmission et la réception de données par liaison VHF. Ce système permet par exemple de renseigner l'avion sur la météorologie, ou d'échanger des informations relatives à la maintenance de l'avion ou de ses sous-systèmes. Les messages ACARS enregistrés par Air Inter et concernant le F-GGED le jour de l'accident ont été examinés. Aucun de ces messages n'est significatif d'une panne.

Une description des systèmes de pilotage et de navigation de l'A320 figure en annexe 15.

16.4 - certification.

Le certificat de Navigabilité n° 109620 a été délivré le 22 décembre 1988. Le 11 octobre 1991, il a été validé jusqu'au 22 décembre 1994.

16.5 - Entretien.

L'entretien était assuré par la Compagnie Air Inter.

La dernière visite de maintenance périodique (de type A) a été effectuée le 12 décembre 1991.

La visite prévol a été effectuée le matin du 20 janvier avant le départ de la rotation.

Le document "Etat technique" comporte cinq rubriques: état "Land", tolérances, faits techniques ouverts ou reportés, faits techniques des cinq derniers vols et particularités.

On note que l'état "Land" est opérant, qu'il n'y a aucune tolérance, que les faits techniques signalés sont sans relation avec les circonstances de l'accident et que la mise en place d'un FCU modifié (voir § 117.22) est indiqué dans la rubrique "particularités".

Les enquêteurs ont procédé à l'examen détaillé des documents d'entretien. Le résultat de cet examen est exposé en fonction des besoins aux § 117.2 et 117.3.

16.6 - Masse et centrage

Au moment de l'accident, l'appareil était à une masse approximative de 52,5 tonnes et un centrage de 28,5 % . Il avait été pendant tout le vol à l'intérieur des limites de masse et de centrage.

L'avion avait décollé avec une masse de carburant embarqué de 5700 kg environ.

CHAPITRE 1.7 - RENSEIGNEMENTS SUR L'EXPLOITANT ET LES AUTORITES DE L'AVIATION CIVILE

17.1 - La compagnie Air Inter

17.11 - Brève présentation

17.111 - La compagnie Air Inter a été créée en 1954. C'est une société anonyme (SA) dont les actionnaires principaux sont des organismes publics. Elle fait partie du groupe Air France depuis le 22 janvier 1990. Elle garde cependant au sein du groupe ses structures propres et sa vocation originale, qui est la desserte des principales lignes intérieures françaises avec un produit spécifique, caractérisé par une politique de bas tarifs (prix du kilomètre inférieur d'environ 40% au prix moyen pratiqué sur les lignes France-Europe), appuyée sur des coûts d'exploitation abaissés par l'utilisation d'avions gros-porteurs sur de nombreuses lignes, un aménagement densifié et un service à bord simplifié.

Ce produit subit depuis 1981 la concurrence croissante des trains à grande vitesse (TGV), et, dans un moindre mesure, celle qui résulte de la libéralisation en cours du transport aérien communautaire. Malgré cela, la croissance de l'activité d'Air Inter a été forte (+ 54,4%) de 1985 à 1990. Elle s'est interrompue en 1990 du fait de la crise du transport aérien qui a touché l'ensemble des compagnies. Alors que les comptes d'Air Inter avaient été bénéficiaires depuis 1975, la compagnie a enregistré des pertes nettes en 1990 et 1991. Sa situation reste cependant satisfaisante au regard des critères habituellement utilisés pour apprécier la situation financière des compagnies aériennes en France.

17.112- Air Inter exploite 61 lignes régulières intérieures et 7 lignes régulières internationales, qui ne représentent cependant que 2% de son activité. Sa flotte était composée au 1 février 1992 de 22 AIRBUS A300, 28 AIRBUS A320, et 8 DASSAULT MERCURE. En 1990, Air Inter était au troisième rang européen pour le nombre total de passagers transportés (16,2 millions) et au cinquième rang pour les passagers-kilomètres transportés intra-européens (8,9 milliards). Air Inter employait 10900 personnes, dont 934 navigants techniques et 2000 navigants commerciaux.

17.12 - Caractéristiques particulières

17.121 - Les spécificités de son réseau confèrent à l'exploitation d'Air Inter des caractéristiques particulières. Les étapes sont courtes, et par conséquent les temps de vol réduits. Si l'on écarte les étapes européennes, la distance d'étape moyenne est de 270 milles nautiques, et le temps de vol moyen entre décollage et atterrissage de 40 minutes. Des temps de vol aussi courts rendent les rattrapages de retards très difficiles. Les temps d'escale sont relativement réduits par rapport aux conditions d'exploitation européennes, les durées minimums programmables pour les escales de l'A320 étant de 50 minutes (45 minutes en province). Cependant l'organisation des escales est adaptée à une prise en charge rapide et les moyens mis à la disposition des personnels au sol et à bord (troisième MCDU, ACARS, radiotéléphones, dispositif de gestion de l'avitaillement depuis le cockpit) accélèrent les opérations en cas de problème technique.

17.122 - La clientèle principale d'hommes d'affaires est extrêmement sensible à la ponctualité et la régularité des vols, et cela d'autant plus que leur brièveté exacerbe l'impact subjectif d'un retard. Le respect des horaires est perçu comme d'une importance primordiale dans la culture de la compagnie, et constitue un axe fort dans l'organisation de l'exploitation. La culture d'entreprise valorise fortement l'optimisation des temps de vol, tout en respectant une politique de profils de vol à coût d'exploitation minimum, traduite sur A320 par l'adoption d'un "cost index" plutôt faible. Les équipages sont sensibilisés aux surcoûts en carburant entraînés par l'adoption de nombres de Mach ou de niveaux de vol différents de l'optimum. La réduction des temps de vol passe donc essentiellement par la recherche de raccourcis dans les procédures de route et d'arrivée, les descentes et les arrivées rapides susceptibles de procurer quelques gains de priorité à l'atterrissage. Cette culture s'appuie sur une excellente connaissance du réseau par les équipages (répétitivité très forte), une valorisation de la dextérité manoeuvrière, et l'expérience d'un avion aux qualités de vol en descente exceptionnelles (le DA01 Mercure), qui a pu induire un certain esprit d'émulation entre les différents secteurs avions.

Cette culture a franchi les frontières de la compagnie: elle est reconnue à l'extérieur et notamment par les contrôleurs de la circulation aérienne qui, s'agissant des avions d'Air Inter, s'attendent à des procédures accélérées, et parfois les suggèrent.

En pratique, pour le secteur A320, 85% des vols sont effectués avec moins de 15 minutes de retard. En 1989 et 1990, Air Inter a reçu d'Airbus Industrie la récompense de la meilleure exploitation de l'A320, qui sanctionne la régularité technique.

17.2 - L'exploitation de l'A320 à Air Inter

17.21 - Le contexte de la mise en service de l'A320

17.211 - Le premier A320 a été livré à Air Inter le 17 juin 1988 et mis en ligne le 23 juin 1988. Dix autres avions seront livrés entre le 17 juin 1988 et le 30 octobre 1989, et dix-huit autres entre octobre 1990 et février 1992. Pour Air Inter, la plus récente mise en ligne d'un nouvel avion datait de 1974 (Airbus A300). De plus l'A320 était perçu par l'encadrement comme un avion à la fois très novateur et n'ayant pas encore atteint sa maturité, en particulier du fait des nombreux logiciels embarqués. La mise en oeuvre de l'A320 a donc été perçue par les responsables de la compagnie comme une opération difficile, justifiant des mesures particulières, (voir §

17.22).

17.212 - Le climat social dans lequel s'est effectué la mise en ligne de l'A320 à Air Inter était particulièrement difficile. Un conflit social long, fortement médiatisé au plan national, comprenant des grèves répétitives de certains personnels navigants techniques, avait été déclenché à l'occasion de l'arrivée de l'avion, essentiellement à la suite de la décision de sa mise en oeuvre avec un équipage à deux pilotes. Un climat de tension importante régnait dans la compagnie, et les pilotes ayant accepté de participer à l'équipe chargée de préparer la mise en exploitation de l'avion ("équipe de marque") se sont heurtés à des hostilités très fortes.

17.213 - Les pilotes de l'équipe de marque ont effectué leur stage de qualification de type à Aéroformation, filiale d'Airbus Industrie pour la formation des équipages, en janvier 1988. Les équipages suivants seront encore formés à Aéroformation jusqu'en juin 1989, date à laquelle l'instruction d'Air Inter devient autonome.

17.214 - Jusqu'en janvier 1991, tous les équipages entrant en stage de qualification de type A320 ont été volontaires pour passer sur A320, en provenance des secteurs A300, Mercure, ou Caravelle 12. A partir de cette date, l'extinction progressive du secteur Caravelle et l'arrêt des stages de qualification sur A300 et Mercure n'ont plus laissé le choix aux pilotes, et l'affectation au secteur A320 ne s'est plus faite uniquement sur la base du volontariat.

17.22 - La structure spécifique à l'A320

17.221 - Du point de vue de la mise en oeuvre des avions, la compagnie Air Inter était structurée le 20 janvier 1992 de la façon suivante: une Direction Générale des Affaires Techniques et Opérationnelles regroupait une Direction de l'Exploitation Aérienne (responsable des opérations aériennes, le directeur de l'exploitation est aussi chef des personnels navigants), une Direction du Matériel (responsable de la prise en charge technique et de l'entretien des avions), et une Direction du Transport (chargée de la gestion du réseau).

17.222 - La Direction de l'Exploitation Aérienne comprenait trois "pôles": le pôle PNT, le pôle PNC, et le pôle Ingénierie. Le pôle PNT incluait le Centre d'Instruction du Personnel Navigant (CIPN), le Centre de Vol PNT, et le Centre Technique. Le CIPN et le Centre de Vol PNT étaient structurés en secteurs par type d'avion, et comportaient donc en particulier un secteur spécifique pour l'A320. Le Centre Technique avait la responsabilité du traitement des incidents et accidents concernant un avion de la compagnie. Il disposait notamment du service d'analyse systématique des vols exigé par la réglementation française pour l'exploitation en équipage à deux pilotes.

17.223 - La Direction du Matériel comprenait elle aussi une structure spécifique pour l'A320, dont tout l'effectif était spécialisé sur A320 et ne traitait aucun autre type d'avion. Cette structure dialoguait avec les secteurs de vol à travers des réunions hebdomadaires et mensuelles.

17.23 - La sélection et la formation des équipages

17.231 - Il n'y a pas de processus de sélection interne particulier pour désigner les pilotes qui passeront sur A320. Cette désignation s'est d'abord faite sur la base du volontariat, puis sur la base des nécessités induites par les reconversions de flotte.

La conversion sur A320 des pilotes déjà en fonction dans la compagnie comportait à la date de l'accident les étapes principales décrites ci-après:

17.232 - un stage technique spécifique intitulé STAN (Stage Technique Avions Nouveaux)

Ce stage préparatoire est destiné à enrichir et harmoniser les connaissances techniques des équipages et des personnels au sol concernant les technologies récentes (avionique moderne, calculateurs embarqués et automatismes numériques, commandes de vol électriques), et leur utilisation (gestion de la trajectoire et du vol, conduite et contrôle des automatismes). Ce stage vise à faciliter l'acquisition des compétences professionnelles sur l'avion par une meilleure compréhension de son fonctionnement mais également par l'installation d'une confiance suffisante pour engager un apprentissage: certaines innovations sont à la fois justifiées et démythifiées. Ce stage dure sept jours.

17.233 - un stage de qualification de type proprement dit

Ce stage se déroule en quatre phases principales: l'étude des systèmes avion; l'étude des procédures normales et d'urgence; l'étude des limitations, des procédures particulières et des performances, et des aspects sécurité et sauvetage; les séances de "vol" sur simulateur (Full Flight Simulator (FFS)).

La première phase (étude des systèmes avion) s'effectue en équipages constitués et dure 11 jours. Elle comporte 38 heures d'enseignement assisté par ordinateur (EAO) et utilise un environnement de maquette photographique du cockpit à l'échelle 1. L'étude de chaque système est suivie par un débriefing (au total 17 heures) effectué par un instructeur sol spécialiste du système. Ce débriefing permet de préciser des points importants et de contrôler le niveau des connaissances acquises, qui ne font pas l'objet par ailleurs d'un test formalisé. Des séances de simulateur (au total 23 heures de Fixed Based Simulator (FBS)) permettent d'utiliser les commandes et les contrôles correspondant à chaque système.

La seconde phase (étude des procédures normales, de secours et d'urgence) dure six jours. Elle débute par un briefing général sur la répartition des tâches entre pilotes, l'utilisation des check-lists appel/réponse, l'étude de la phraséologie spécifique à l'avion. Puis les procédures sont exécutées sur simulateur (FBS) avec l'aide des instructeurs sol. Neuf heures sont consacrées aux procédures normales, et autant aux procédures de secours et d'urgence.

A l'issue de ces deux phases, une évaluation des connaissances et des compétences acquises est effectuée par le pilote instructeur qui prendra en charge le stagiaire pour la dernière phase, c'est à dire le "vol" sur FFS. Cette évaluation dure trois heures.

La troisième phase comporte deux journées de cours en salle concernant les limitations, les procédures particulières, et les performances bimoteur et monomoteur de l'avion. Ces cours sont dispensés par un pilote instructeur. Cette phase se termine par une journée consacrée aux aspects sécurité et sauvetage.

La quatrième phase est ouverte aux stagiaires ayant satisfait à l'évaluation sur FBS. Elle comprend 7 séances de 4 heures de "vol" sur FFS, effectuées en équipage constitué sous la direction d'un instructeur pilote de ligne, précédées d'un briefing en salle de 2 heures, et suivies d'un débriefing de 1 heure. Ces séances concernent le pilotage de base, le pilotage automatique sélecté, puis managé. Elles étudient les protections du domaine de vol, les réversions de mode, les lois de pilotage. Des séances de type LOFT (Line Oriented Flight Training) permettent ensuite d'étudier les différentes pannes et situations d'urgence. Chaque arrivée fait l'objet d'un type de percée différent (VOR, ADF, LOC, CAT1, approches automatiques).

A l'issue de ces sept séances de FFS, une séance de contrôle d'une durée de 4 heures est effectuée. Elle comprend un vol commercial à préparer complètement, et au cours duquel l'équipage doit traiter différents types de problèmes et de pannes. Une approche VOR est demandée lors de ce contrôle.

La quatrième phase s'achève par une séance de 2 heures consacrée à un complément d'entraînement aux décollages non classiques (décollages avec minimums de visibilité réduits et utilisation de moyens de guidage instrumentaux pour la tenue de l'axe) et aux approches automatiques.

Dans le cadre de ce stage de qualification de type, les percées VOR sont abordées à partir de la troisième séance. Un cours spécifique est effectué par l'instructeur à l'aide du schéma synoptique d'approche classique contenu dans le manuel d'exploitation, et à l'aide d'un tableau spécifique comportant le profil vertical et des photographies du Navigation Display de chaque pilote. Il est prévu que ce cours spécifique impose l'utilisation de la référence TRK/FPA et souligne l'importance des aspects suivants: une stabilisation sur l'axe en vitesse, configuration et régime 1NM avant le point de descente (cependant, la mise en configuration volets FULL est prévue le cas échéant à 0,5 NM du point de descente, et la stabilisation n'est alors guère possible avant la descente); le calcul du vario estimé en fonction du vent et le recalage de la descente au moyen des distances DME; l'annonce des écarts de vitesse, de vario, et de hauteur; l'annonce de MDH +200 et MDH +100. Trois approches VOR et une approche NDB sont effectuées par équipage pendant cette quatrième phase, ce qui signifie que chacun des deux pilotes est aux commandes pour deux approches classiques.

17.234 - un vol de maniabilité hors ligne

Si la séance de contrôle sur FFS est satisfaisante, le stagiaire effectue un vol de maniabilité d'environ 45 minutes sur l'avion. Ce vol fait partie du programme approuvé par la DGAC (SFACT après avis de l'OCV), qui a imposé certains exercices au programme de ce vol pour ce type d'avion. La qualification de type A320 est délivrée au stagiaire à l'issue de ce vol.

17.235 - un premier module "complément technique"

Ce module qui dure 4 jours est dispensé immédiatement après le vol de maniabilité. Il a pour objectif d'approfondir la connaissance des systèmes, structures et procédures liées à la maintenance (CFDS, ACARS, utilisation pratique de la MEL, visite prévol extérieure, connaissance des différents intervenants de la Direction du Matériel A320), et de réviser la réglementation applicable aux approches de précision.

17.236 - des vols d'adaptation en ligne avec un instructeur

A l'issue du premier module de complément technique, les stagiaires sont mis en adaptation en ligne, c'est à dire qu'ils effectuent des vols commerciaux dans leur fonction (commandant de bord ou copilote), mais avec un instructeur pilote de ligne appartenant au secteur Instruction. Le nombre de vols (étapes) que comporte cette adaptation dépend de l'origine du stagiaire. Les premières adaptations sur A320 comportaient 5 vols de 4 étapes, le sixième vol étant le vol de contrôle de lâcher en ligne, effectué par un instructeur pilote de ligne rattaché au secteur de vol.

A partir de la mi-91, compte tenu de l'expérience des problèmes rencontrés, et avec l'arrivée d'une population de pilotes moins motivée et plus réticente vis-à-vis du changement (principalement en provenance du secteur Caravelle 12 en extinction), la durée de l'adaptation en ligne a été portée à 7 vols de 4 étapes, le huitième vol étant le contrôle en ligne. S'il juge le stagiaire insuffisamment préparé, l'instructeur a la possibilité de demander un ou plusieurs vols supplémentaires.

Le manuel d'adaptation en ligne de la compagnie recommande d'effectuer une approche classique lorsque les conditions (météorologie, circulation aérienne) le permettent.

17.237 - un second module "complément technique"

L'objectif de ce module, qui prend place 30 jours après le contrôle de lâcher en ligne, est de permettre aux pilotes, une fois acquise une certaine expérience personnelle sur l'avion, de reprendre l'étude des principaux systèmes, de certaines interventions simples effectuées en escale, et de l'utilisation de la MEL. Ce module dure 4 jours, et comprend une séance de FFS de 2 heures en équipage constitué, au cours de laquelle est effectué le contrôle d'aptitude aux décollages non classiques et aux approches de précision CatII et CatIII (y compris l'utilisation du HUD pour les commandants de bord).

17.24 - Le maintien et le contrôle des compétences

Les exigences réglementaires concernant le maintien et le contrôle des compétences sont : un stage annuel de maintien des compétences, un contrôle annuel effectué au cours d'un vol commercial et portant sur la connaissance et le respect du manuel d'exploitation, un contrôle annuel effectué hors ligne et portant sur les exercices de la qualification de type.

Air Inter a regroupé dans un module unique le stage de maintien des compétences et le contrôle hors ligne. Ce stage est intitulé "performances". Il est suivi une fois par an. Le programme de ce stage a été approuvé par la DGAC. Ce stage a pour objectif d'actualiser les connaissances des pilotes concernant l'A320, ainsi que leur savoir faire dans le cadre des tâches qui leur sont assignées au sein de l'équipage. Il fournit surtout l'occasion de prendre en compte les incidents survenus en exploitation, de réviser des procédures particulières et les procédures de secours ou d'urgence.

Le stage dure trois jours. Le premier est consacré à des cours en salle, et les deux suivants au simulateur: 2 séances de 4 heures précédées d'un briefing de 2 heures. La première séance consiste en un "vol" de type LOFT. La seconde est consacrée au contrôle hors ligne annuel, effectué sur simulateur agréé (FFS), en présence d'un instructeur pilote de ligne de la compagnie, et qui porte sur les exercices réglementaires de la qualification de type.

17.25 - Eléments concernant l'exploitation en ligne de l'A320 à Air Inter

17.251 - L'appariement des membres d'équipage

A la date de l'accident, la gestion de la constitution des équipages à Air Inter, comme dans la plupart des compagnies, ne prenait pas systématiquement en compte l'expérience des pilotes sur le type d'avion.

Pour faire face à l'augmentation des effectifs et à la multiplication des modifications de programmation de vols, la compagnie a développé un outil informatique d'aide à la gestion des équipages (le système AIGLE). Les premières applications de cet outil, qui ne prenaient pas en compte l'expérience des pilotes sur le type, ont été mises en oeuvre pour le PNT en juin 1991.

17.252 - Le traitement des incidents

La réglementation française fait obligation au commandant de bord, à un membre de l'équipage, à un représentant du propriétaire ou de l'exploitant de tout aéronef civil de notifier immédiatement les incidents ayant mis en cause la sécurité aérienne. Pour les incidents graves concernant les aéronefs de transport public, le commandant de bord est tenu d'établir un rapport circonstancié dans les 48 heures.

L'organisation interne de la compagnie Air Inter confie au Centre Technique la responsabilité du traitement des incidents concernant les avions de la flotte. Le Centre Technique établit le dossier d'incident, assure les relations avec les autorités concernées de l'administration (Bureau Enquêtes Accidents). Une double permanence opérationnelle est organisée, l'une au sein de la Direction de l'Exploitation et l'autre au sein de la Direction du Matériel, pour la prise en charge en temps réel des événements.

A la date de l'accident, Air Inter ne disposait toutefois pas d'une structure spécifique exclusivement dédiée à la sécurité des vols (ex: Officier de Sécurité des Vols). Cependant un bulletin de sécurité des vols, comportant des analyses d'incidents ou d'accidents était édité par le Centre Technique.

On trouve chez pratiquement tous les exploitants une certaine réticence vis à vis de la diffusion à l'extérieur d'informations relatives aux incidents qu'ils rencontrent. Le climat social tendu dans lequel s'est effectuée la mise en service de l'A320 à Air Inter a parfois conduit à une utilisation polémique des incidents survenus, qui a renforcé la réticence évoquée ci-dessus. La diffusion de l'information auprès des équipages, du constructeur, ou des autorités de l'aviation civile est en conséquence restée réduite. Ainsi on constate que le compte-rendu d'exploitation fourni par Air Inter à l'administration au terme de la première année d'exploitation, conformément à une obligation réglementaire associée à l'équipage à deux, ne fait mention d'aucune difficulté d'exploitation particulière, alors que celui soumis par la compagnie Air France signale un taux d'incident techniques "très élevé" et en donne la liste.

17.253 - Le système d'analyse systématique des vols

La réglementation française subordonne la délivrance d'une autorisation d'exploiter un avion de plus de quarante tonnes avec un équipage à deux à la mise en place d'une analyse systématique des vols, exploitant les enregistrements des paramètres de vol et les documents du vol. A la date de l'accident cette tâche était confiée à Air Inter à un Secteur Analyse des Vols, rattaché au Centre Technique et donc à la Direction de l'Exploitation Aérienne. Cette structure procède au dépouillement informatisé de l'enregistreur QAR de tous les vols d'A320. Un traitement automatique met en évidence tout paramètre dont la valeur dépasse un seuil ou une fourchette prédéfinie. L'"anomalie" ainsi détectée est alors validée manuellement.

La liste des paramètres pris en compte privilégie une surveillance centrée sur les trajectoires. Contrairement à ce qui se pratique dans d'autres compagnies, l'accord d'entreprise ne prévoit pas que les vols ayant donné lieu à une détection d'anomalie importante fassent l'objet d'une analyse spécifique opérationnelle approfondie, pouvant comporter une discussion avec l'équipage concerné. Cependant une telle analyse est possible, lorsqu'il s'agit d'une anomalie rapportée par l'équipage lui-même, et seulement dans ce cas, après autorisation écrite de celui-ci. Une investigation particulière, comprenant éventuellement une discussion avec l'équipage concerné, peut alors être effectuée. En dehors de ces exceptions, les anomalies détectées ne font donc l'objet que d'un traitement statistique global.

Les résultats de l'analyse systématique des vols font l'objet d'une diffusion interne à la compagnie au profit des Secteurs de Vol, et du chef du personnel navigant. Ils font également l'objet d'un état statistique mensuel. Une interprétation restrictive de l'accord d'entreprise et de ses dispositions de respect de l'anonymat a conduit à ne pas diffuser l'information issue de l'analyse systématique des vols auprès du constructeur, des autorités de l'aviation civile, ou du Bureau Enquêtes Accidents.

17.3 - L'exercice de la tutelle technique de l'Etat

17.31 - La structure administrative

La Direction Générale de l'Aviation Civile exerce une tutelle technique sur la compagnie Air Inter par l'intermédiaire de deux services:

- le Service de la Formation Aéronautique et du Contrôle Technique (SFACT) est l'autorité administrative compétente. Il définit la réglementation applicable à toute exploitation aérienne en transport public, en précise les conditions d'application particulières, délivre les autorisations et agréments correspondants, et contrôle leur mise en oeuvre, sauf pour ce qui concerne le niveau professionnel des équipages.

- l'Organisme du Contrôle en Vol (OCV) effectue des contrôles de navigants en vol, de façon inopinée ou non, par sondage ou à l'occasion d'enquêtes particulières auxquelles il participe à la demande du SFACT. Il est d'autre part un organisme consultatif chargé de donner des avis et des conseils à tous les services de la DGAC, et en particulier au SFACT sur des questions d'ordre opérationnel.

17.32 - Le contexte réglementaire et son application

La réglementation de base applicable à toute entreprise de transport public française est l'arrêté du 5 novembre 1987 et ses modifications successives. Ce texte couvre le champ réglementaire visé par l'Annexe 6 de l'OACI. Il ne se conforme pas aux dispositions de cette annexe sur le point suivant: il n'établit pas d'obligation d'emport d'un système avertisseur de proximité de sol (GPWS). Ce point est traité plus en détail au paragraphe 1.18.3. Cette réglementation se complète par des arrêtés et instructions concernant la compétence des équipages: délivrance des brevets et licences, programmes de qualification de type.

En application de cette réglementation, le Ministre chargé de l'Aviation Civile a délivré à Air Inter ses autorisations générales d'exploitation en transport public.

17.321 - L'autorisation d'exploiter l'A320 en équipage à deux pilotes a été accordée le 21 juin 1988 selon les exigences de l'arrêté du 5 novembre 1987. Après avis de l'OCV, le SFACT a approuvé le programme de qualification de type, approuvé les méthodes d'entraînement des équipages, agréé les simulateurs utilisés pour l'instruction en vol de la qualification de type et pour le contrôle annuel de compétence hors ligne.

17.322 - Le processus d'agrément des instructeurs chargés du contrôle des compétences a été long à mettre en oeuvre. Selon cette procédure, la compagnie soumet au SFACT les dossiers de candidature des instructeurs dont elle demande l'agrément. Le SFACT étudie alors les dossiers selon les critères définis dans les textes réglementaires et s'appuie sur l'avis de l'OCV avant de délivrer ou non l'agrément.

Or l'accord d'entreprise d'Air Inter prévoit la nomination des instructeurs à l'ancienneté et pour une période de quatre ans non renouvelable. Ces dispositions conduisent à une rotation relativement rapide des instructeurs et entraînent de ce fait une charge de suivi d'un nombre important de dossiers de candidature pour la délivrance des agréments. Air Inter percevant cette procédure comme purement formelle n'a soumis aucun dossier au SFACT avant octobre 1991.

Aucun instructeur n'a donc été agréé pour les contrôles périodiques des compétences entre 1988 et 1992 (La mise en conformité avec l'arrêté du 05/11/87 aurait impliqué que ces agréments soient délivrés avant le 30/11/88)

17.323 - Aucune autre anomalie n'est à noter, et aucune dérogation aux dispositions réglementaires n'avait été accordée à Air Inter à la date de l'accident, pour ce qui concerne le F-GGED et son équipage.

17.324 - Conformément à l'arrêté du 5 novembre 1987, les procédures d'exploitation de l'A320 utilisées par Air Inter n'ont pas fait l'objet d'un agrément, mais d'une description dans le Manuel d'Exploitation. La partie "utilisation" de ce manuel avait été présentée au SFACT et à l'OCV dès mars 1988, et son évolution a été importante jusqu'en juin 1988, donnant lieu à de nombreuses réunions conjointes SFACT/ OCV/ Air Inter. La version finalisée du manuel a été déposée auprès du SFACT le 2 juin 1988 et n'a plus fait l'objet de commentaires de la part de cet organisme après cette date.

17.325 - Les règlements concernant l'exécution des procédures d'approche et de décollage aux instruments, et en particulier ceux relatifs aux procédures de précision, ont été normalement appliqués à Air Inter qui a reçu sur cette base les autorisations de procédures et les agréments d'instructeurs pour approches de précision.

17.326 - Pour ce qui concerne l'entretien des avions, la réglementation applicable à toute entreprise effectuant l'entretien d'avions exploités en transport public est l'arrêté du 8 décembre 1975. Cet arrêté a été normalement appliqué à Air Inter: l'introduction de la maintenance de l'A320 a entraîné des modifications des spécifications d'entretien qui ont été soumises au SFACT et approuvées. Air Inter a reçu en application de cet arrêté les agréments et autorisations concernant l'ensemble de ses activités d'entretien sur l'A320.

17.33 - Exercice des contrôles

17.331 - Contrôles associés à la délivrance de l'autorisation équipage à deux

Les dispositions réglementaires applicables (arrêté du 20 août 1956, puis arrêté du 5 novembre 1987) demandent qu'une enquête spécifique soit menée par le SFACT et l'OCV lors de la mise en exploitation d'un avion de plus de 40 tonnes avec un équipage à deux. Cette enquête concerne les moyens mis en place (personnels navigants et au sol; formations et structures d'encadrement; moyens matériels; documentation; manuel d'exploitation). Elle comporte des contrôles par l'OCV de l'instruction des personnels navigants en cours d'instruction et lors des premiers vols en ligne, ainsi que des contrôles de l'application du manuel d'exploitation, réalisés conjointement par le SFACT et l'OCV.

A ce titre, au mois de mai 1988, quatre équipages ont été observés au simulateur par un pilote inspecteur de l'OCV, qualifié A320 (stage Aéroformation) et par ailleurs commandant de bord A300 à Air Inter. Au mois d'août 1988, un autre pilote inspecteur de l'OCV, commandant de bord dans une autre compagnie, a effectué deux vols en ligne au titre de l'enquête "équipage à deux" : l'un avec un cadre d'Air Inter, pilote de l'équipe de marque, et l'autre avec un commandant de bord instructeur.

Il convient de noter qu'en fin d'année 1988, pendant la période de mise au point de la formation autonome à Air Inter, le pilote inspecteur commandant de bord sur A300 à Air Inter, a suivi un stage complet de qualification de type A320 aux titres de son maintien de compétence et de sa standardisation aux méthodes Air Inter (cf § 17.23).

Par ailleurs, le SFACT a effectué au cours de l'été 1988 une série de contrôles d'exploitation, à la fois au sol et en vol (30 étapes environ) pour vérifier l'application et l'adéquation des procédures prévues par Air Inter.

La décision d'autorisation d'exploiter l'A320 avec un équipage de deux pilotes était assortie d'une demande à Air Inter d'établir un bilan d'exploitation un an après la mise en ligne de cet avion. Cette demande est habituelle.

La DGAC n'a pas formulé de demande particulière ou de critique à l'examen des documents du bilan effectué par Air Inter (cf § 17.252.3).

17.332 - L'exercice normal du contrôle

17.332.1 - A l'issue de la période de validation évoquée au paragraphe précédent, le contrôle des méthodes d'exploitation d'Air Inter s'inscrivait dans le cadre normal prévu par le Code de l'Aviation Civile et l'arrêté du 20 août 1956 puis celui du 5 novembre 1987, qui prévoient notamment :

- la possibilité d'inspections globales ou sectorielles de la compagnie effectuées conjointement par le SFACT et l'OCV;

- une vérification par le SFACT et l'OCV des méthodes d'exploitation, et par l'OCV du niveau professionnel des équipages;

- un contrôle au sol et en vol de l'application et de l'adéquation des procédures d'exploitation de la compagnie;

17.332.2 - La compagnie Air Inter n'a jamais fait l'objet d'une inspection globale. La dernière inspection sectorielle, consacrée au système de maintien de compétence des personnels navigants techniques et effectuée dans le cadre d'une étude nationale sur le sujet, remonte à 1984. Ceci n'est pas propre à Air Inter : en pratique, très peu d'inspections globales des compagnies françaises de taille importante ont été effectuées par l'administration de tutelle technique.

17.332.3 - En ce qui concerne le niveau professionnel des équipages la réglementation prévoit qu'il est déterminé et vérifié par l'exploitant lui-même à l'issue des phases de qualification de type et d'adaptation en ligne, et lors des contrôles annuels réglementaires. L'efficacité de ce contrôle par l'exploitant lui-même est en principe, mais pas toujours, vérifiée par sondage, par contrôle en vol de l'OCV. En fait, l'OCV n'a pratiqué aucun contrôle en ligne formel sur A320 à Air Inter entre la fin 1988 et la date de l'accident (trois contrôles ont été pratiqués, mais sur d'autres avions de la flotte).

Deux sources d'information peuvent cependant être considérées comme susceptibles d'avoir renseigné l'OCV sur le niveau professionnel des équipages d'Air Inter:

- la première a pour cadre les épreuves pratiques en vol du Brevet de Pilote de ligne, qui relèvent du Jury des Examens présidé par le chef de l'OCV. Ces examens en vol sont des indicateurs du niveau des candidats et de la qualité de leur préparation à l'examen, mais également du respect des procédures d'exploitation prévues par le manuel d'exploitation. Les résultats des candidats issus d'Air Inter ont été similaires aux résultats nationaux.

- d'autre part un pilote inspecteur membre de l'OCV faisait partie de l'effectif des commandants de bord A320 d'Air Inter. Cette double appartenance lui permettait de vivre régulièrement la pratique quotidienne de l'exploitation de l'A320. En fait, il a pu évaluer le comportement que les copilotes avaient en volant en équipage avec lui. Ce comportement n'a appelé de sa part aucune critique particulière, ni en ce qui concerne le travail en équipage, ni en ce qui concerne les annonces. Ce mode d'information ne permettait pas à l'OCV d'être renseigné sur le niveau professionnel des commandants de bord A320.

17.332.4 - En ce qui concerne le contrôle de l'application et de l'adéquation des procédures d'exploitation de la compagnie, des difficultés ont été rencontrées par le SFACT:

D'une part la DGAC a constitué un corps de contrôleurs en escale (CTE) (Contrôleurs Techniques d'Exploitation) dont les contrôles ne concernent que l'état de la machine et de ses équipements, et la disponibilité des documents requis, y compris les préparations et suivis des vols. La cadence élevée des escales Air Inter sur les aérodromes français a multiplié ces contrôles qui ont souvent été perçus comme "tracassiers". Leur organisation a été revue pour qu'Air Inter n'en soit pas davantage l'objet que les autres compagnies.

D'autre part, le SFACT dispose par délégation du Ministre d'un pouvoir de contrôle généralisé. Ses agents peuvent donc procéder à tout contrôle dans le cadre des missions du service. Or dès qu'un tel contrôle s'exerce en vol à bord du poste de pilotage, l'ensemble des navigants le conteste. Cette position a fait l'objet de consignes syndicales très fermes conduisant à refuser l'accès à bord de contrôleurs n'exerçant pas le métier de navigants professionnels à un niveau de qualification au mois égal à celui du commandant de bord. Les navigants de la compagnie Air Inter ont toujours été particulièrement motivés sur le sujet. La conséquence en a été que le SFACT n'a plus été en mesure de procéder à des contrôles en vol d'exploitation à Air Inter depuis 1989.

CHAPITRE 1.8 RENSEIGNEMENTS METEOROLOGIQUES

La description des situations générales en altitude et en surface est basée sur les réseaux du 20 janvier à 12h et du 21 janvier à 0h. Les conditions météorologiques exposées se réfèrent aux réseaux du 20 à 18h et 21h et du 21 à 0h et 3h.

18.1 - Situation générale

18.11 - Situation en altitude

En altitude, à 500 hPa et 700 Hpa, la situation est caractérisée par un flux de nord-est assez fort (40 à 50 kt) circulant entre une dorsale atlantique - avec un maximum sur les îles Britanniques et la mer du Nord - et un thalweg axé de l'Ukraine au Golfe du Lion.

Dans les couches plus basses de l'atmosphère libre, entre 800 Hpa et 900 Hpa, le courant s'infléchit vers l'est et devient modéré (20 à 30 kt).

Au-dessus de la plaine rhénane et des Vosges, le vent et la température moyens se répartissent de la façon suivante au cours de la soirée du 20 janvier :

altitude	vent	température
5500 m (500 Hpa)	060°/40 à 50 kt	-28 à -30 °C
3000 m (700 Hpa)	060°/40 kt	-12 à -15 °C
2000 m (800 Hpa)	06O° à 080°/20 à 30 kt	-9 à -10 °C
1500 m (850 Hpa)	060° à 080°/20 à 30 kt	-6 à -9 °C
1000 m (900 Hpa)	060°/25 kt	-3 à -5 °C

Vers 1000 m d'altitude, la température s'abaisse à -10 °C le 21 janvier.

18.12 - Situation en surface

Entre 18h et 24h, une vaste cellule de hautes pressions règne sur l'Europe du nord (1039 Hpa dans le nord de la Pologne, 1038 Hpa sur la mer du Nord). Une dépression à laquelle est associée une perturbation méditerranéenne est centrée à 1007 Hpa au sud-est de la Corse.

Entre ces deux centres d'action un courant s'est établi, à l'intérieur duquel fluctue une occlusion active axée des Alpes au Jura.

Un ciel de corps et de marge pluvio-neigeux lui sont associés, dont la limite nord s'étendait à 12h de la Bavière à la Lorraine et au Limousin avec pluie et bruine en plaine et neige en montagne. L'ensemble se rabat progressivement vers le sud ou le sud-est pour la partie française et la limite nord intéresse encore à 18h les régions s'étendant des Alpes Bavaroises aux Vosges et à l'Auvergne (annexe 11).

Au nord de cette zone perturbée, c'est le courant d'est continental, froid et sec, qui prédomine : l'invasion d'air froid (masse d'air à -6 °C) gagne progressivement l'Alsace et la Lorraine en fin de soirée.

18.2 - Renseignements fournis à l'équipage

18.21 - Dossier de prévision remis à l'équipage

Le dossier météorologique de vol pour le trajet Lyon-Strasbourg a été retiré au centre météorologique de Satolas par un agent des Opérations d'Air Inter à 15h20, sans commentaire particulier.

Le dossier comporte les documents suivants (voir annexe 13) :

- la carte TEMSI EUROC valable le 20 janvier 1992 à 18h;

- les cartes des vents et températures à 300 Hpa (FL 300) et 500 Hpa (FL 180) valables le 20 janvier 1992 à 18h;

- les METAR de 15h et les TAF valables de 15h à 24h des aérodromes de départ, de destination, et de dégagement.

Les conditions météorologiques rencontrés en vol et en approche à Strasbourg sont très voisines des conditions décrites dans le dossier de vol.

Remarque : En vertu des accords contractuels entre Air Inter et la Météorologie Nationale, les cartes de vents et températures prévus à 700 Hpa (FL 100) et à 850 Hpa (FL 050) ne font pas partie des documents constituant les dossiers météorologiques pour les vols d'avions turbo-réacteurs d'un niveau de croisière supérieur à 500 Hpa (FL 180).

18.22 - Informations reçues en vol par l'équipage

A 17h56, l'équipage écoute l'ATIS (voir § 1.11.4) de Strasbourg-Entzheim et reçoit l'information Novembre enregistrée à 16h00 (voir annexe) :

- piste en service 05,

- niveau de transition 50,

- vent 040°/18 kt,

- visibilité 10 km,

- nuages : 5/8 à 800 pieds, 8/8 à 3000 pieds,

- température et point de rosée : 2°, 1°,

- QNH 1021,

- QFE 1003.

Sur demande du commandant, le copilote mentionne les trois paramètres suivants: la piste en service (05), la nébulosité (8/8 à 3000 pieds), et la vitesse du vent (18 kt).

L'équipage écoute à nouveau l'ATIS deux minutes plus tard, à 17h58. Il reçoit l'information Oscar de 18h :

- piste en service 05,

- niveau de transition 50,

- vent 040°/30 kt,

- visibilité 10 km,

- nuages : 3/8 à 1100 pieds, 6/8 à 2600 pieds,

- température et point de rosée : 1°/0°,

- QNH 1023,

- QFE 1005.

C'est probablement au cours de cette écoute que l'équipage a interrogé l'ACARS à 17h59 pour obtenir le dernier METAR d'Entzheim. Il a reçu celui de 17h30 :

LFST 03019KT 9999 4ST010 4SCO30 8AC090 02/M00 1022 N0SIG =

Remarques :

1 - Le METAR de 18h00, disponible à 18h01, fournissait les éléments suivants :

LFST 03019KT 9999 3ST011 6SC026 01/M01 1023 NOSIG =

2 - Entre 17h30 et 18h30 les rafales de vent enregistrées à la station météorologique d'Entzheim sont comprises entre 21 et 30 kt, direction 040°.

3 - Le seuil de piste 05 est la référence QFE de l'aérodrome. A 16h00 les QFE des pistes 05 et 23 étaient identiques (1003 Hpa). Entre 17h18 et 18h06, ils sont différents :

- QFE 05 (502 pieds) : 1004 Hpa;

- QFE 23 (489 pieds) : 1005 Hpa.

Ils sont à nouveau identiques ensuite (1005 Hpa).

A 18h10, sur demande de l'équipage, le contrôleur d'approche confirme les pressions QFE (1005 hpa) et QNH (1023 hPa), puis, à 18h12, il confirme la nébulosité (3/8 à 1100 pieds et 6/8 à 2600 pieds).

18.3 - Conditions météorologiques rencontrées en approche

A 18h, le ciel de corps lié à l'occlusion (§ 18.12) s'étend sur l'Auvergne, le Jura et les Alpes suisses et autrichiennes. Plus au nord, et en particulier entre Luxeuil et Strasbourg, le ciel de marge est caractérisé par une couche de strato-cumulus, bases 500 à 700 m et sommets vers 2000 m d'altitude, surmontés de bancs d'altocumulus résiduels vers 2700-3000 m.

On peut estimer que les conditions atmosphériques qui régnaient entre 18h et 18h30, au cours de la descente de l'A320 vers ANDLO puis au cours du circuit à 5000 pieds au-dessus des Vosges orientales et de la plaine d'Alsace, étaient les suivantes :

- lors de l'entrée dans la couche de strato-cumulus vers 2000 m d'altitude :

. vent instantané : 040 à 060°/25 à 35 kt irrégulier,

. température : -9 °C,

- en circuit à 5000 pieds (1500 m d'altitude) dans la couche de strato-cumulus :

. vent instantané : 050 à 070°/25 à 30 kt irrégulier,

. température : -6 °C.

- en descente de 1500 m vers 800 m, toujours dans la couche de strato-cumulus :

. vent instantané : 060 à 070°/20 à 25 kt,

. température s'élevant de -6 à -2 °C.

Dans le courant de nord-est à est, l'effet orographique du massif vosgien se manifeste par une accumulation au vent des nuages, un effet de soulèvement avec des sommets bourgeonnants et un contenu en eau liquide plus important qu'au-dessus de la plaine. Les sondages de vents et températures en altitude, les observations au sol, les dépouillements d'enregistreurs de paramètres, et les divers témoignages recueillis permettent de préciser les conditions qui régnaient en approche 05 au-dessus des Vosges orientales, entre 18h et 18h30 :

. pas de stratus au vent des reliefs,

. base uniforme à 600 m (altitude) de la couche à 8/8 de strato-cumulus,

. sommet moyen de la couche : 2000 m d'altitude et bourgeonnements jusqu'à l'altitude de 2200 m (FL 65 à 70),

. vent instantané entre 900 et 1300 m d'altitude: 070°/20 kt,

. quantité d'eau liquide disponible estimée à 0,7 - 0,8 g/m3 entre les altitudes 900 et 2000 m (-3 à -9 °C), occasionnant:

. des chutes de neige ou de bruine verglaçante et des dépôts de givre (observés en montagne),

. un givrage modéré en vol, matérialisé par des accrétions de glace remarquées par les équipages de plusieurs avions sur les arêtes de pare-brise,

. aucun phénomène de turbulence significative rapporté, même au sommet de la couche de strato-cumulus.

18.4 - Conditions d'éclairement

La lune s'était levée à 17h20 sur la région de Strasbourg. Sa position à 18h20 au-dessus du site de l'accident était :

- azimut : 78°46'(par rapport au nord vrai),

- hauteur : +9°18'.

La pleine lune avait eu lieu la veille.

18.5 - Conditions météorologiques au cours des opérations de recherche et de sauvetage

Entre 18h et 21h, l'influence de l'air froid et sec, circulant dans le courant d'est et succédant à la zone perturbée en cours de rabattement vers le sud, commence à se manifester sur le nord de la plaine rhénane : déchirement de la couche de strato-cumulus et disparition des bancs de stratus. En fait le changement de situation avec l'invasion de l'air continental intervient après 21h sur le Bas-Rhin et ne gagne le sud de l'Alsace que le 21 à 0h. Sur les Vosges, en conditions de brouillard givrant, la couverture nuageuse va se dissiper avec un décalage de quatre à cinq heures par rapport à la plaine.

Pendant les recherches couvrant globalement les domaines forestiers d'Obernai et de Barr, les conditions atmosphériques ont été les suivantes :

- brouillard givrant avec une visibilité inférieure à 500 m (souvent quelques dizaines de mètres) ;
- température entre 600 et 800 m d'altitude s'abaissant de -2 °C à 18h à -10 °C à 3h ;
- état du sol : dépôts de givre, par endroits sol enneigé et gelé ou verglacé.

CHAPITRE 1.9 - AIDES A LA NAVIGATION

19.1 - Installations sol de radionavigation

19.11 - Equipement général

Les procédures publiées de transit, d'arrivée et de départ de l'aérodrome de Strasbourg s'appuient sur les équipements au sol suivants :

- le VOR "STR", fréquence 115.6 MHz,

- le TACAN "STR", canal 103 x (fréquence appariée : 115.6 Mhz),

- la radiobalise "SE", fréquence 412 Khz,

- un ILS en piste 23 :

. Localizer (radiophare d'alignement de piste) "ST", fréquence 110.1 Mhz,

. Glide (radiophare d'alignement de descente), fréquence 335.0 Mhz, pente de 3 °,

. Deux radiobornes sur la fréquence 75 Mhz : la radioborne extérieure (OM) et la radioborne intermédiaire (MM).

Ces installations et équipements fonctionnaient au moment de l'accident.

19.12 - Le TACAN "STR"

19.121 - Historique

En novembre 1991, la présence d'eau au niveau de l'antenne du TACAN a conduit à mettre en place une balise TACAN mobile pendant la durée des travaux de reconditionnement.

Cette balise, de référence NRCP 1A, a subi un contrôle en vol par deux avions Mirage F1 CR. Ce contrôle reposait sur la comparaison des mesures de distance fournies par la balise mobile avec celles de la balise destinée à être arrêtée et celles calculées par les centrales inertielles des avions. Les résultats obtenus ont permis de mettre en service la balise mobile le 22 novembre.

Une demande de calibration officielle a, en outre, été formulée auprès du Commandement Régional des Transmission de l'Armée de l'Air le 2 décembre 1991. A la date de l'accident, cette calibration n'avait pas encore été faite ; aucun NOTAM n'en faisait état.

19.122- Précision en distance du TACAN

Des clauses techniques figurant au marché passé entre l'industriel et l'Armée de l'Air, il ressort que la précision en distance du TACAN est de +/- 90 mètres.

Les essais et expérimentations menées avant la mise en service de ce moyen au sein de l'Armée de l'Air ont montré que la précision réelle en distance des balises TACAN est de +/- 75 mètres.

C'est cette dernière valeur qui a été retenue par les services techniques centraux compétents (STTE - DCMAA) et figure au "Manuel d'entretien" de l'installation de radionavigation.

19.2 - Equipements radar

19.21- Equipement général

Pour assurer les services radar, le centre militaire de contrôle local de l'aérodrome (CLA) de Strasbourg dispose :

- d'un radar panoramique "Centaure",

- d'un radar de précision SPAR,

- d'un déport de l'image radar du CRNA Est (VISU 670).

19.211 - Le radar Centaure et ses vidéos

19.211.1 - Le radar Centaure est un radar panoramique primaire et secondaire (longueur d'onde de 23 cm - antenne tournant à 12 tours/minute).

L'antenne est implantée sur l'aérodrome, entre la piste et la voie de circulation, à 400 mètres du seuil de la piste 05. Les informations fournies par ce radar peuvent être :

- exploitées directement sur les matériels de visualisation radar mis à disposition du CLA, sous forme de vidéo primaire (brute ou filtrée) et/ou secondaire,

- traitées par le système STRAPP (STRIDA/Approche), implanté en salle technique, en vue de générer sur les matériels de visualisation des pistes synthétiques qui sont, selon le cas, d'origine locale ou STRIDA (Système de traitement et de représentation des informations de défense aérienne de Drachenbronn avec lequel le STRAPP de Strasbourg est relié par une liaison de transmission de données),

- exploitées manuellement à partir du système de désignation et d'interrogation (secondaire et Mode C uniquement).

19.211.2 - La vidéo primaire

La vidéo brute du radar primaire restitue sur l'écran du contrôleur, sous forme d'échos primaires la position de tous les aéronefs détectés ainsi que les échos fixes (relief) se trouvant à l'intérieur de la couverture radar.

En position "vidéo filtrée" tout ou partie des échos fixes est supprimée.

Le contrôleur choisit l'échelle des distances de visualisation. Ce choix s'applique à toutes les autres vidéo.

Quelle que soit la solution retenue, les échos des aéronefs sont toujours parfaitement visibles lors de leur évolution au-dessus du relief.

19.211.3 - La vidéo secondaire

La vidéo du radar secondaire restitue sur l'écran du contrôleur la position de tous les aéronefs équipés d'un transpondeur de bord fonctionnant et se trouvant à l'intérieur du volume de détection radar.

A Strasbourg, cette vidéo est essentiellement un outil d'identification des vols contrôlés, par différenciation des symboles correspondant à la position des aéronefs.

L'association d'un symbole particulier au code qu'il veut identifier est réalisée par le contrôleur grâce à un clavier situé sur le côté du scope.

Ainsi le code 6100, code affiché par le pilote du F-GGED à la demande du contrôleur était visualisé sur l'écran radar par un symbole sous la forme d'un rectangle plein, (aéronef à l'arrivée) positionné derrière le plot primaire.

19.212 - La vidéo du STRAPP

Le STRAPP permet de créer et de visualiser sur l'écran du contrôleur des pistes synthétiques qui sont :

- soit d'origine locale (détection primaire et/ou secondaire Centaure),

- soit d'origine locale ou STRIDA, en fonction du critère de qualité, lorsque la liaison STRAPP/STRIDA est activée.

Une piste est composée d'un symbole d'identification et d'un vecteur vitesse, auxquels est associée, sur initiative du contrôleur, une étiquette qui peut comprendre tout ou partie des éléments suivants :

- le niveau de vol (origine locale ou STRIDA précisée),

- les modes SSR (origine non précisée),

- le numéro général (origine STRIDA),

- l'indicatif (origine STRIDA).

19.213 - La vidéo synthétique interne

La vidéo synthétique interne permet de faire apparaître:

- les cercles des distances centrés sur l'origine de la détection (position de l'antenne radar). Ces cercles représentent soit les distances de dix en dix milles nautiques, les cercles des cinquantaines étant sur-brillants, soit les distances de deux en deux milles nautiques, les cercles des dizaines étant sur-brillants. Le contrôleur opte pour l'une ou l'autre des représentations,

- le point ANDLO et la position de la radiobalise "SE" (la position du VOR/TAC "STR" n'est pas visualisée),

- l'axe de la piste en service,

- un axe quelconque généré à la demande du contrôleur,

- un vecteur gonio centré sur le radar mis en oeuvre à la demande.

19.214 - Le système de désignation et d'interrogation

Ce système permet au contrôleur de connaître le code transpondeur, le niveau de vol ou l'altitude d'un aéronef à condition que celui-ci soit équipé d'un transpondeur Mode C en fonctionnement.

Pour ce faire le contrôleur doit cibler l'aéronef à l'aide d'un petit cercle lumineux qu'il déplace en imprimant des mouvements à une boule roulante située à portée immédiate sur le pupitre.

Lorsque le contrôleur a positionné le cercle sur le symbole de la vidéo secondaire d'un aéronef ciblé et au moment où le balayage de détection passe sur cette vidéo, le niveau de vol (ou l'altitude) ou le code du transpondeur de l'aéronef apparaissent dans une fenêtre située près de l'écran.

19.22 - Installations des matériels de visualisation radar

Les services de la circulation aérienne sont rendus à partir de la "vigie" et de la "salle IFR", deux entités distinctes au sein du contrôle local d'aérodrome.

La salle IFR n'est activée que pendant les périodes d'activité aérienne militaire.

En dehors de ces périodes, la salle IFR est désactivée et les services du contrôle d'approche sont rendus depuis la vigie.

Dans la salle IFR sont installés les matériels panoramiques de visualisation (consoles d'approche), les écrans du système radar d'atterrissage et un écran VISU 670 (déport de l'image radar du CRNA Est).

Dans la vigie est installée une console de contrôle d'Approche complète équipée d'un écran de visualisation panoramique permettant toutes visualisations et fonctions décrites au paragraphe 19.21 (à l'exception des fonctions de la visu 670 disponible uniquement en salle IFR).

19.23 - Technique d'utilisation

19.231- Principes

Pour assurer les services radar du contrôle de la CAG à partir de la salle IFR ou de la vigie, les différentes vidéo mises à disposition du contrôleur sont utilisées comme suit :

- l'identification radar est établie et maintenue par corrélation entre un écho primaire observé et un symbole (vidéo secondaire) correspondant au code SSR affiché par le pilote,

- en cas de non fonctionnement du radar secondaire ou du transpondeur de bord, l'identification radar est réalisée en vérifiant que l'écho radar primaire observé se trouve sur la ligne de position radiogoniométrique

associée au radar,

- le guidage radar est réalisé en utilisant la vidéo radar primaire brute ou filtrée, les réglages en gain étant effectuées de telle sorte que les échos avions apparaissent nettement sur le fond de carte des reliefs,

- les éléments composant l'étiquette STRAPP (indicatif éventuel et surtout Mode C) sont utilisés sur initiative du contrôle en fonction de la situation aérienne, essentiellement en vue d'assurer les espacements verticaux entre les aéronefs.

19.232 - Le jour de l'accident

Au moment de l'accident, les services du contrôle d'approche étaient rendus à partir de la vigie.

Selon le "Registre journal" et le "Registre de pannes" (destiné à la maintenance), et selon les témoignages des contrôleurs en fonction, aucune panne n'était signalée et tous les matériels décrits plus haut fonctionnaient normalement.

L'image de l'écran, ou ses réglages, ne sont pas enregistrés. Toutefois, le témoignage du contrôleur qui occupait ce poste fournit des indications sur le réglage de la console de contrôle d'approche (voir chapitre 1.20).

CHAPITRE 1.10 - TELECOMMUNICATIONS.

110.1 - Radiocommunications et liaison ACARS.

Au cours du trajet, l'avion est entré successivement en contact avec les organismes de contrôle de la circulation aérienne suivants (fréquences correspondantes):

- Satolas sol (121.80 Mhz)

- Satolas tour (120.00 Mhz)

- Satolas approche (128.50 Mhz)

- Marseille contrôle (123.80 Mhz)

- Genève contrôle (127.30 Mhz)

- Reims contrôle (124.95 Mhz)

- Strasbourg approche (120.70 Mhz)

A aucun moment l'équipage n'a signalé de problème sur une de ces fréquences.

Toutes les radiocommunications et les communications téléphoniques des organismes de contrôle sont enregistrées.

Une piste des bandes magnétiques est réservée à l'enregistrement d'une horloge codée interne. Lors de la relecture, ce codage est lu et restitué sur une horloge numérique.

Une transcription datée de ces communications a été effectuée, et la partie de cette transcription utile à la compréhension de ce rapport figure en annexe 10.

Enfin, l'avion était équipé d'un système ACARS (voir § 16.3) de transmission automatique de données par liaison hertzienne VHF.

Les messages ACARS émis par le F-GGED au cours du vol de l'accident étaient enregistrés.

110.2 - Equipements radio et téléphone des organismes de la circulation aérienne

110.21 - Equipement radio

La tour de contrôle de Strasbourg-Entzheim est équipée d'un ensemble radio permettant l'émission et la réception sur les fréquences :

- 122.10 Mhz et 118.70 Mhz pour le contrôle d'aérodrome

- 120.70 Mhz, 125.875 Mhz et 121.35 Mhz pour le contrôle d'approche
- 121.5 Mhz fréquence internationale de détresse veillée en permanence. C'est sur cette fréquence qu'émettent les balises de détresse.

- 126.925 Mhz, pour la fréquence ATIS.

Toutes les fréquences peuvent être gérées indifféremment de la salle IFR ou de la vigie.

110.22 - Equipements du réseau téléphonique

Le contrôle d'approche de Strasbourg-Entzheim est équipé d'un réseau de lignes directes spécialisées. L'une d'entre elles le relie au Centre de Coordination et de Sauvetage (CCS) de Drachenbronn, une autre au CRNA Est. Cette deuxième ligne est enregistrée et la transcription de l'enregistrement figure en annexe 10.

CHAPITRE 1.11 - RENSEIGNEMENTS SUR L'AERODROME.

111.1 - Généralités

L'aérodrome de Strasbourg Entzheim est un aérodrome militaire ouvert à la circulation aérienne publique.

Il est affecté à titre principal au Ministère de la Défense (Armée de l'Air) et à titre secondaire au Ministère des Transports (Aviation Civile).

Les services de la circulation aérienne sont rendus par des contrôleurs militaires de l'Armée de l'Air.

L'utilisation de l'aérodrome par les aéronefs civils est définie par un protocole d'accord, établi entre les deux affectataires, datant du 1er janvier 1976, et amendé le 1er novembre 1980.

Les heures de vacation des services de la circulation aérienne sont, en hiver: tous les jours de 05h15 à 22h00.

La piste unique 05/23 est longue de 2400 mètres. Elle est orientée 051°/231° magnétiques.

111.2 - Evolutions réglementaires et techniques

Une modification du code de l'Aviation Civile (articles D. 131 - 1 à 10, et plus particulièrement l'article 9) en date du 25 juillet 1985 a donné la possibilité réglementaire aux organismes militaires de contrôle de rendre les services de la circulation aérienne générale suivant des modalités d'exécution précisées par un arrêté conjoint.

Un arrêté du 28 juillet 1986 porte création d'un espace aérien réglementé, doublé d'un espace aérien contrôlé dans la région de Strasbourg, afin de permettre le déroulement conjoint des activités civiles et militaires sur l'aérodrome de Strasbourg Entzheim.

Un arrêté du 24 décembre 1986 et les publications d'information aéronautique ont permis la mise en vigueur de cet espace à double statut et des services de la circulation aérienne correspondants à compter du 7 mai 1987.

Une zone de régulation radar a été établie à l'intérieur de l'espace contrôlé. Les services de contrôle, d'information de vol et d'alerte de la CAG sont rendus à l'intérieur de cet espace aérien contrôlé.

A l'origine, compte tenu de l'absence d'écran radar adéquat à la vigie, les services radar ne pouvaient être rendus qu'à partir de la salle IFR, et pendant les horaires militaires conformément au protocole DGAC/Armée de l'air du 1er novembre 1980.

Cette double limitation a été levée à partir du 15 octobre 1987 grâce à l'installation en vigie d'une console de contrôle d'approche complète équipée d'un écran de visualisation du radar Centaure, et après qu'un accord des autorités militaires eut autorisé le contrôleur à disposer de moyens radar en dehors des horaires militaires.

Lorsque la salle IFR est désactivée, les services du contrôle d'approche sont donc rendus à partir de la vigie.

Les consignes établies par le chef du CLA donnent toute latitude au chef de quart pour décider de l'utilisation de cette console de contrôle d'approche en fonction de la situation aérienne.

111.3 - Contrôle des vols en CAG à Strasbourg

111.31 - Principes généraux

L'espace aérien de Strasbourg est inclus dans l'espace de responsabilité du Centre Régional de la Navigation Aérienne Est (CRNA Est).

Le jour de l'accident, cet espace était activé au seul profit des aéronefs volant en Circulation Aérienne Générale (CAG). Seul le statut d'espace aérien contrôlé est donc à prendre en considération.

Cet espace englobe une zone régulation radar ainsi que les trajectoires d'arrivée, de départ et de transit (annexe 2). Sa gestion est définie dans une lettre d'accord entre le Centre Régional de la Navigation Aérienne Est et la Base Aérienne 124 de Strasbourg-Entzheim.

Cette lettre d'accord précise les modalités de gestion des avions de la Circulation Aérienne Générale (CAG) volant selon les règles IFR soit à destination ou en provenance de l'aérodrome de Strasbourg-Entzheim, soit en transit dans l'espace à double statut.

Elle décrit dans ses annexes :

- les moyens de liaison,

- les services rendus par l'APP de Strasbourg,

- les procédures de transit, de départ et d'arrivée,

- le traitement des conflits entre les départs, les arrivées et les transits.

L'Approche de Strasbourg assure les services du contrôle de la Circulation Aérienne, d'Information en Vol et d'Alerte à l'intérieur de l'espace aérien contrôlé, les services radar étant assurés en tant que de besoin.

111.32 - Responsabilité des services de contrôle en ce qui concerne le franchissement des obstacles par les aéronefs en IFR

L'annexe 11 à la Convention de Chicago et le DOC444-PANS/RAC définissent la responsabilité du contrôle en ce qui concerne la prévention des collisions avec les obstacles. Elle dispose que, sauf dans le cas de guidage radar, il est de la responsabilité du pilote de prendre en compte le franchissement des obstacles et de vérifier que les autorisations qui lui sont délivrées ne compromettent pas la sécurité du vol à cet égard. Par contre, lorsqu'il assure le guidage d'un aéronef en vol IFR, le contrôleur radar s'assurera que la marge de franchissement du relief est suffisante à tout moment jusqu'à ce que l'aéronef parvienne au point où le pilote reprend sa propre navigation.

Dans la réglementation française en vigueur le 20 janvier 1992, il n'entrait pas dans les attributions des organismes de la circulation aérienne d'empêcher les collisions entre les aéronefs en vol et les obstacles terrestres. Le pilote avait donc l'obligation de vérifier que les autorisations des organismes de contrôle de la

circulation aérienne ne compromettaient pas la sécurité du vol sur ce point.

Toutefois, cette réglementation précisait que, lorsque le service de contrôle radar (guidage et régulation) est assuré au profit d'un aéronef en approche initiale, les instructions données par le contrôleur doivent maintenir l'appareil à l'intérieur de la zone de régulation radar, laquelle ménage, par construction, une marge de sécurité pour le franchissement des obstacles.

111.33 - Procédures d'arrivée à Strasbourg

111.331- Itinéraires

Les itinéraires normalisés d'arrivée et ceux soumis à l'autorisation particulière de l'approche sont publiés dans l'AIP France (RAC 4-139).

Le premier niveau IFR utilisable en provenance d'EPL (balise VOR d'Epinal) et LUL (balise VOR LUL) est, selon le QNH en vigueur à Strasbourg, le niveau 70, 80, ou 90.

111.332 - Coordinations

Les coordinations sont définies dans la lettre d'accord entre le CRNA Est et le centre de contrôle d'approche de Strasbourg en date du 1er juillet 1990. La radiobalise de référence est le locator SE. Elle est notamment utilisée comme balise d'attente. La coordination est réalisée dix minutes au plus tard avant l'heure estimée de survol de SE.

Le CRNA Est transmet au centre de contrôle d'approche l'indicatif de l'appareil à l'arrivée et son code transpondeur.

Pour les arrivées en provenance de LUL ou d'EPL, le CRNA doit impérativement respecter ce préavis de 10 minutes. En effet, le centre de contrôle d'approche peut lui demander de diriger ces arrivées directement sur ANDLO, en vue d'une approche directe vers la piste 05.

En réponse l'approche fournit au CRNA Est le plus bas niveau utilisable à 21NM de STR, et s'il y a lieu, l'heure d'approche prévue.

111.4 - Procédure VOR-DME

Note: en toute rigueur, il s'agit d'une procédure VOR-TAC, car elle utilise pour les distances la partie "mesure de distance" du TACAN de Strasbourg (cf glossaire). Ce système est assimilable à un DME, et la construction de la procédure, ainsi que sa réalisation par les équipages sont strictement identiques. En conséquence, dans la suite de ce rapport, on emploiera indifféremment les termes "procédure VOR-DME" ou "procédure VOR-TAC".

111.41 - Historique

L'utilisation aux instruments de la piste 05 de Strasbourg-Entzheim avait fait l'objet en septembre 1977 d'une étude de procédure ILS effectuée par la Direction Régionale de l'Aviation Civile (DRAC) Nord, complétée en décembre 1977 par une étude du Service Technique de la Navigation Aérienne (STNA). La procédure était basée sur une pente de 6,25 % avec une variante proposant une pente de 8,8 % sur le segment intermédiaire avec une pente finale sur un glide à 5,5 %.

Cette procédure, testée sur simulateur, posait des problèmes d'implantation de l'installation au sol. Mis en rapport avec le coût associé, ils ont conduit à son rejet.

Au cours de l'année 1982, la Chambre de Commerce a demandé que soit reprise l'étude d'utilisation de la piste 05 autrement qu'en manoeuvre à vue libre (MVL). Cette demande a conduit en 1983 à l'étude d'une procédure VOR-TAC.

111.42 - La procédure

111.421 - Généralités

La procédure VOR-TAC 05 de Strasbourg est une procédure d'approche classique avec repère d'approche finale.

Elle consiste en une suite de segments qui correspondent à des phases successives du vol. Ces segments sont délimités par des repères :

- IAF : repère de début d'approche initiale (pour la procédure VOR-TAC 05 de Strasbourg, c'est la balise SE);

- IF : repère de début d'approche intermédiaire (pour la procédure VOR-TAC 05 de Srasbourg, c'est le point ANDLO);

- FAF : repère de début d'approche finale (pour la procédure VOR-TAC 05 de Srasbourg, c'est le point situé sur l'axe d'approche finale, à 7 NM du TACAN);

111.422 - Particularités de conception

11.422.1- Dérogations

La procédure VOR-TAC 05 a été établie selon les règles de l'Instruction 20754/DNA du 12 octobre 1982. Elle est dérogatoire sur trois points et a fait explicitement l'objet de dérogations portant sur :

a) La pente de 5,6 % du segment d'approche intermédiaire. Ceci permet d'obtenir une pente identique pour les phases intermédiaire et finale.

En ce qui concerne la pente de descente, l'Instruction 20754/DNA stipule que la pente du segment d'approche intermédiaire devrait être nulle puisqu'il sert à établir la vitesse et la configuration de l'aéronef en vue d'aborder le segment d'approche finale. Cependant si une descente est nécessaire, l'Instruction précise que la pente maximale admissible est de 5 % et qu'un palier de décélération doit être prévu avant l'approche finale.

La pente de 5,6 % est donc doublement dérogatoire.

b) La longueur de segment à l'estime en approche initiale de 11,7 NM. Il s'agit ici du segment compris entre 21 NM de STR et ANDLO (cf carte en annexe 6).

Ceci permet d'obtenir des distances DME de début de l'approche initiale identiques pour les deux arrivées à l'estime.

L'Instruction 20754/DNA précise qu'en ce qui concerne le segment d'approche initiale, "un guidage sur trajectoire est normalement exigé, mais l'on peut toutefois prévoir un segment à l'estime sur une distance qui ne dépasse pas 10 NM". La longueur de 11,7 NM du segment à l'estime est donc dérogatoire.

Ces dérogations ont été accordées par la DNA.

Remarque : ni la demande formulée par la DRAC/Nord, ni la réponse fournie par la DNA ne mentionne la dérogation que constitue l'absence de palier de décélération en approche intermédiaire. Le plan annexé à la demande de la DRAC/Nord faisait bien apparaître un profil continu, mais ceci n'a suscité aucune remarque de la DNA.

Sur interrogation de la commission, la DNA a indiqué que la présence d'un palier de décélération était difficilement envisageable compte tenu d'autres contraintes et que cela aurait conduit à accepter d'autres dérogations.

111.422.2 - Marge de franchissement d'obstacles

Une marge de 225m a été adoptée sur le segment d'approche intermédiaire de la procédure VOR-TAC 05 de Strasbourg. Elle est supérieure au minimum réglementaire fixé à 150m pour ce type de procédure. L'Instruction 20754/DNA prévoit en effet qu'en site montagneux une majoration de la marge de franchissement est laissée à l'appréciation du concepteur de la procédure.

111.422.3 - Le virage d'inversion

Conçu pour permettre de faire demi-tour dans l'approche initiale, ce virage est effectué au nord de l'axe d'approche de façon à maintenir les séparations nécessaires avec la trajectoire de recueil de Circulation Aérienne Militaire de Strasbourg d'une part, la procédure de Colmar et les espaces de Lahr et Solingen d'autre part.

111.422.4 -

Consultée sur la définition de cette procédure, la compagnie a émis un avis favorable (lettre 83/1248 du 5 juillet 1983).

111.43 - Volets de procédure

111.431- Cartes IAC du Service de l'Information Aéronautique (SIA)

Le SIA est un service de la Direction de la Navigation Aérienne (DNA) qui a la charge de la publication des procédures d'approches selon les normes et recommandations de l'annexe 4 à la convention de Chicago.

Les cartes publiées par le SIA et correspondant à la procédure VOR-TAC 05 sont reproduites en annexe 6. On note que l'obstacle coté 823 m pris en compte dans la construction de la procédure et qui détermine l'altitude associée au point d'approche finale (FAF) situé à 7 NM de STR ne figure pas sur le volet IAC.

Les altitudes prescrites pour chaque point de passage (5000 pieds à 11 NM, 4300 pieds à 9 NM et 3660 pieds à 7 NM de STR) protègent cependant de cet obstacle au niveau du FAF avec une marge de franchissement majorée de 50 %.

111.432 - Cartes Air France

L'équipage utilisait pour ce vol les cartes aéronautiques mises à sa disposition par sa compagnie, c'est à dire les cartes éditées par le groupe Air France, conformément aux dispositions du Manuel d'Exploitation d'Air Inter.

Il convient de noter que l'édition de cartes aéronautiques à partir de la cartographie officielle n'est soumise à aucune réglementation.

En examinant les cartes utilisées par l'équipage, on note que :

- l'équipage disposait d'un seul jeu de cartes de procédure d'approche.

- les trajectoires d'arrivées pour les pistes 23 et 05 sont regroupées sur un seul feuillet et aucune information ne permet de les différencier clairement. Le tronçon orienté ANDLO-STR-SE (trajectoire d'arrivée sur autorisation ou instruction de l'approche) n'est que partiellement représentée. ANDLO et STR sont joints par un trait simple sans fléchage, le tronçon STR-SE est omis.

- la représentation graphique de la procédure VOR DME 05 est dans l'ensemble conforme à la publication officielle, toutefois les appellations IF (repère d'approche intermédiaire) et FAF (repère d'approche finale) n'apparaissent pas. De plus la trajectoire finale s'interrompt avant le point d'approche interrompue (MAPt).

- la trajectoire représentée entre ANDLO et le FAF a été lissée à des fins de continuité de pente avec le segment final de l'approche.

- l'axe de percée est noté au 050° (publication du 22 août 1991) alors que les cartes du SIA notent cet axe au 051° (publication du 3 mai 1990).

- la trajectoire en plan de la procédure VOR/DME 05 sort du cadre de la carte.

- la représentation du profil vertical de la procédure comporte l'indication de possibles mises en alerte de l'avertisseur de proximité du sol (GPWS) symbolisées par des hélicoïdes à 9 Nm de STR en éloignement et en retour.

- la fiche ne comporte pas de tableau de correspondance distance DME/altitude de passage.

111.5 - L'ATIS

L'approche de Strasbourg est équipée d'un ATIS, matériel installé par la DGAC au profit des aéronefs en CAG.

La mise en oeuvre d'un ATIS a pour objectif fondamental de délester les fréquences de contrôle d'approche d'informations à caractère répétitif tout en offrant aux usagers la possibilité d'obtenir à leur initiative les renseignements pertinents sur les conditions d'utilisation d'un aérodrome.

Les émissions de l'ATIS sont destinées à la fois aux aéronefs à l'arrivée et aux aéronefs au départ.

Ces messages sont identifiés par la lettre qui suit directement dans l'ordre alphabétique celle utilisée dans le message précédent.

Les éléments d'information indiqués ci-après constituent le message ATIS et doivent être transmis dans cet ordre: piste en service, état de la piste, niveau de transition, éventuelle modification de l'état opérationnel des aides visuelles et radioélectriques, situation ornithologique exceptionnelle, éventuellement des renseignements concernant l'activation de certaines zones à statut particulier, renseignements météorologiques.

Toute modification significative de l'un des éléments d'information contenus dans l'émission ATIS en cours doit donner lieu à l'enregistrement et à la diffusion d'un nouveau message.

Le message ATIS doit être renouvelé au minimum toutes les heures. Tout message datant de plus d'une heure doit être considéré comme périmé et ne doit plus être diffusé.

A Strasbourg, l'élaboration, l'enregistrement et la transmission des messages ATIS sont assurés par la vigie.

On note qu'à 17h 56mn, quand l'équipage écoute l'ATIS, il reçoit l'information Novembre enregistrée à 16h.

111.6 - Le balisage

La piste 05 de l'aérodrome de Strasbourg est équipée d'un balisage latéral, de feux à éclats et d'un indicateur de pente d'approche VASI. Elle n'est pas équipée de rampe d'approche.

Cet équipement est conforme à l'arrêté du 15 mars 1991 relatif aux conditions d'homologation et aux procédures d'exploitation des aérodromes qui stipule en son paragraphe III.5.3 "qu'il n'est normalement pas prévu d'installer de dispositif lumineux d'approche pour les pistes non ouvertes aux approches de précision".

Cette disposition de la réglementation française s'écarte sur ce point de l'annexe 14 de l'OACI paragraphe 5.3.1.1 B (Piste avec approche classique) qui spécifie :

"Partout où cette installation est matériellement possible, les pistes avec approche classique seront dotées d'un dispositif lumineux d'approche simplifié répondant aux spécifications de 5.3.5.2 à 5.3.5.9, à moins que la piste ne soit utilisée que dans des conditions de bonne visibilité ou qu'un guidage suffisant soit assuré par d'autres aides visuelles".

L'administration française, comme toutes les autres administrations étrangères d'ailleurs, n'a pas notifié à l'OACI de différence sur ce point. Elle considère en effet que la rédaction du paragraphe cité ci-dessus laisse la possibilité de ne pas installer de ligne d'approche sur piste avec approche classique, sous réserve d'adapter les minimums opérationnels.

A cet effet, l'instruction du 12 mars 1990 relative à la détermination et à l'utilisation des minimums opérationnels (chapitre 3) contient plusieurs tableaux qui fournissent, pour une MDH donnée, une VH tenant compte de la longueur de la ligne d'approche. En particulier, le tableau 5 prévoit des VH dans le cas d'une piste non équipée de ligne d'approche.

Cette interprétation est tout à fait admise et se retrouve sur de nombreux aérodromes du monde entier.

CHAPITRE 1.12 - ENREGISTREURS

112.1 - Enregistreurs de bord.

112.11 - Récupération sur l'épave

Conformément aux réglementations en vigueur, l'avion était équipé de deux enregistreurs protégés. Ces enregistreurs ont été découverts à 0h46 le 21 janvier.

Les enregistreurs étaient situés dans la zone entre la cloison pare-feu du groupe auxiliaire de puissance (APU) et le fond de pressurisation de l'avion. Cette zone a fortement souffert de l'action d'un foyer d'incendie. L'enregistreur de paramètres (DFDR) était toujours sur son support, l'enregistreur phonique (CVR) était au-dessus de lui. Les deux enregistreurs étaient pris dans une gangue de métal fondu, le DFDR davantage que le CVR. Ils ont pu être retirés de la zone chaude environ trois quarts d'heure après leur découverte. Ils étaient encore chauds, le CVR moins que le DFDR qui brûlait les mains, même à travers des gants.

Les enregistreurs étaient de marque LORAL-Fairchild, modèle F800 et référence 17M800-21-1 pour l'enregistreur de paramètres, modèle A100 et référence 52799 pour l'enregistreur phonique.

L'avion possédait en outre un enregistreur de paramètres non protégé (QAR), de marque Schlumberger, de référence PC 6033-3-55, S/N 679, destiné à la maintenance et à l'analyse des vols et enregistrant les mêmes informations que le DFDR. Cet enregistreur a été découvert le 21 janvier, vers 9h 30 dans la zone de la soute électronique.

Enfin, des mémoires non volatiles situées à l'intérieur de divers calculateurs de bord ont été retrouvées et ont été exploitées. Les résultats de ces travaux sont exposés au § 1.17

112.12 - DFDR

L'enregistreur de paramètres a souffert du feu au point que son système de lecture et sa bande magnétique sont fondus et agglomérés. Toute exploitation de l'information a été impossible.

112.13 - CVR

112.131 - Etat de l'enregistreur

Les opérations d'ouverture du CVR et de copie de la bande originale se sont déroulées le 21 janvier 1992 au matin. L'enregistreur a souffert extérieurement du feu sur l'ensemble de sa surface. Il ne présente aucune trace de choc.

112.132 - Opérations d'ouverture

L'extraction de l'enveloppe extérieure a été effectuée à l'aide d'une cisaille, en raison de la déformation consécutive à son exposition au feu. L'accès au boîtier anti-choc n'a pu être possible qu'après désincarcération complète de l'ossature et de l'électronique de l'enregistreur.

La protection thermique présentait, en divers endroits, des zones de brûlure, ce qui indique une exposition prolongée de l'enregistreur à une source de chaleur intense. Néanmoins l'ouverture du dernier capot protecteur de la platine a révélé que la bande magnétique était en bon état

112.133 - Bande magnétique

La bande magnétique présentait tout de même hors bobine des signes de torsion caractéristiques d'un exposition prolongée à une chaleur importante. Elle était, de plus, légèrement collée au niveau du cabestan, ce qui est le signe d'une amorce de fusion.

La bande a été coupée au niveau de sa sortie de la platine support et transférée manuellement sur une bobine 1/4 de pouce.

112.134 - Copie et exploitation

La bande originale a fait l'objet de deux copies sur une bande 1/4 de pouce de 4 pistes, et d'une copie sur une bande 1 pouce de 8 pistes. Ces copies sont des copies "brutes", exemptes de filtrage ou de modification du niveau initial d'enregistrement.

La vitesse de défilement de la bande originale a été calée par analyse spectrale de l'interférence du réseau électrique de bord à 400 Hz. La synchronisation ultérieure, faite en comparant les temps relatifs des émissions radio avec le paramètre correspondant du QAR d'une part, l'enregistrement du contrôle aérien d'autre part, n'a pas présenté de difficulté.

Les conversations avec le contrôle ou l'équipage commerciale, directement enregistrées à la "source" sur les pistes dédiées aux VHF et au "public address", n'ont pas posé de problème de compréhension.

L'équipage ne communiquait pas au moyen de casques micro-écouteurs. Ses conversations ont été enregistrées grâce au microphone d'ambiance générale du poste de pilotage (Cockpit Area Microphone). La compréhension de certaines phrases est particulièrement difficile. Une opération de retrait de bruit de fond par traitement numérique sur les mots ou groupes de mots les plus douteux n'a pas permis de lever les doutes qui subsistaient. L'augmentation du rapport "signal (parole) sur bruit (bruit cockpit)" ne suffit pas, sur cet enregistrement, à l'amélioration de l'intelligibilité.

Une reconnaissance par test multi-auditeurs a cependant permis de lever les incertitudes sur un certain nombre de mots.

Une transcription des éléments qui ont finalement pu être compris, et qui sont utiles à la compréhension du présent rapport, figure en annexe 8.

112.14 - QAR

L'enregistreur présentait des traces de choc et de brûlure sur les trois quarts de sa surface externe. Après ouverture, la bande magnétique est apparue fortement endommagée, coupée, déformée et étirée sur une longueur d'environ vingt centimètres correspondant approximativement aux trente dernières secondes du vol. Dans sa partie la plus abîmée, sa largeur ne dépasse pas le millimètre, et environ trois centimètres ont totalement disparu.

L'exploitation de la bande magnétique par lecture magnétique et décodage automatisé n'a pas été possible sur la partie endommagée. On a donc utilisé des méthodes de décodage manuel pour lire les informations binaires contenues dans les zones abîmées. On a aussi utilisé une méthode d'exploitation manuelle par lecture magnéto-optique (voir § 1.19) pour traiter deux éléments de bande isolés.

Ces méthodes d'exploitation ont permis de récupérer toute l'information enregistrée, à l'exception des vingt-cinq dernières secondes du vol (et plus particulièrement des neuf dernières), où des discontinuités apparaissent dans l'information recouvrée.

Les extraits des paramètres recouvrés à partir de l'enregistrement QAR, et qui sont utiles à la compréhension du présent rapport, figurent sur des graphes de synthèse joints en annexe 7.

112.15 - Performance des enregistreurs de bord

112.151 - Résistance du matériel - Expertises

La bande du DFDR ayant été détruite par le feu, et celle du CVR ayant atteint un point critique, des expertises ont été conduites pour déterminer les contraintes thermiques subies.

Le fabricant américain de ces matériels, LORAL, a ainsi comparé les jeux de photographies de l'ouverture des deux enregistreurs avec ses propres enregistreurs ou photographies témoins. Il a aussi effectué des tests pour préciser certains points.

Les laboratoires métallurgique et chimique du CEPr de Saclay ont pour leur part examiné les pièces des enregistreurs eux-mêmes, ainsi que la gangue métallique qui les enserrait. Le CEPr a aussi conduit des essais comparatifs sur des boîtiers témoins.

Les principaux résultats de ces expertises sont les suivants:

Durée du feu de haute intensité :

La température du carburant brûlant en extérieur est d'environ 1000 à 1100°C. Dans ces conditions, les parties externes en aluminium, telles que la balise subaquatique et la poignée, commencent à fondre après environ trois minutes. Le châssis interne se met alors à fondre lui aussi. Après 15 à 20 minutes d'exposition totale au feu, tous les éléments en aluminium auront fondu.

Dans le cas de l'accident du F-GGED, seuls certains coins des châssis ont commencé à fondre. La température de fusion de l'alliage léger est de 560 °C. L'enveloppe extérieure des enregistreurs a donc été soumis à des températures de moins de 650 à 700 °C.

LORAL estime alors la durée du feu général de haute intensité (température supérieure à 700 °C) à moins de 15 minutes. D'après les tests normatifs, une exposition à un tel feu pendant une durée de moins de 30 minutes ne conduit pas à la destruction de la bande.

Feu de basse intensité :

Après ce feu de haute intensité qui seul n'aurait pas détruit la bande du DFDR, les boîtiers ont donc été soumis à un feu de plus faible intensité pendant un long laps de temps.

La bande magnétique elle-même supporte au maximum une température de l'ordre de 200 °C.

Les essais de chauffe d'une bande magnétique neuve en présence de pièces provenant de la cinématique d'un enregistreur neuf ont été conduits par le CEPr pour obtenir des aspects identiques à ceux relevés sur le DFDR du F-GGED. Dans ces conditions, la température maximale atteinte à l'intérieur du DFDR est estimée à 430 °C, et ce pendant 45 minutes.

Il reste encore à tenter d'estimer la durée du feu de basse intensité subi par le DFDR.

Pour ce faire, des essais de destruction par le feu de plusieurs boîtiers de DFDR modèle F800 ont été conduits par Loral, jusqu'à cerner les dommages subis par celui du F-GGED. De manière générale, l'isolation protège la bande, à 260 °C, pendant environ 6 heures.

Dans les tests effectués, les dommages à 250 °C se sont révélés moins sévères que ceux constatés pour le F-GGED, alors que l'essai à 283 °C s'est révélé plus sévère. La température moyenne du foyer de longue durée a donc été prise égale à environ 260 °C.

Les essais ont été réalisés dans un four à température contrôlée. Des thermocouples avaient été installés sur la bande et dans le boîtier interne en aluminium.

Les résultats de ces tests ont montré que les dommages du DFDR du F-GGED auraient nécessité avec une température uniforme de 260 °C, de 6 à 7 heures de chauffe.

Du fait du feu de haute intensité initial, et de la température de 430 °C notée par le CEPr, la durée du feu de basse intensité subi est donc estimée à environ 5 à 6 heures.

112.152 - Informations enregistrées sur le DFDR

Sur cet avion, le DFDR et le QAR enregistraient les mêmes paramètres. Les réflexions qu'inspire l'exploitation du QAR pour cette enquête s'appliquent donc aussi au DFDR.

La réglementation française actuelle exige, pour les avions de transport public de la taille de l'A320,

l'enregistrement de 25 paramètres. Lors des travaux de certification de l'A320, un nombre beaucoup plus important de paramètres (deux cent treize) a été prévu. Ceci valait donc pour le F-GGED.

Les innovations concernant certains systèmes de commande de vol (commandes électriques de vol) ont conduit à prendre en compte beaucoup de paramètres s'y référant.

Quelques modes de pilotage automatique ou de gestion automatique du vol sont enregistrés.

Sauf en ce qui concerne le fonctionnement des moteurs, aucune valeur cible n'est enregistrée.

112.2 - Enregistreurs sol.

112.21 - Radars

Les radars utilisés par l'aviation civile à des fins de contrôle en route sont des radars secondaires qui utilisent le relais d'un dispositif "répondeur" embarqué à bord des avions. Celui-ci renvoie, lorsque le faisceau radar l'éclaire, une réponse qui comprend son code d'identification attribué (mode A) et l'altitude-pression de l'appareil (mode C).

112.211 - Couverture radar de la région de Strasbourg

Elle est actuellement assurée par trois radars :

La Dole, radar installé en Suisse sur une hauteur près de Genève à 138 NM de STR . Le relief jurassien masque son horizon vers le nord ce qui lui interdit toute détection en dessous de 8000 pieds environ sur STR.

Chaumont (Cirfontaines en Ornois), radar monoimpulsion de nouvelle génération implanté à 87 NM à l'ouest de STR. Le relief vosgien limite son horizon à l'altitude 4000 pieds environ à la verticale de la balise STR.

Drachenbronn, radar militaire français situé à 30 NM au nord de STR. Aucun obstacle ne limite son horizon vers STR. Un avion volant à 5000 pieds sur STR est en principe détecté dans de bonnes conditions car il est vu sous un angle de site de 1,5° au-dessus de l'horizon. La barrière vosgienne constitue en revanche un écran important dans la direction du sud-ouest.

112.212 - trajectoires relevées

La perception de la partie finale du vol de l'accident par les radars cités, auxquels on a ajouté le radar allemand de Pfalzerwald, a donné lieu à des enregistrements trajectographiques qui ont été regroupés à la même échelle sur la carte qui figure en annexe 11. Cette carte fait apparaître le couloir de dispersion des trajectoires vues par les radars. Cette même annexe contient une note de présentation succincte du système de traitement radar, une étude de principe sur les erreurs associées aux mesures, et une étude sur la précision des relevés trajectographiques du vol dans sa partie finale.

112.22 - Radiocommunications

La transcription de l'enregistrement des radiocommunications établies avec les organismes de contrôle qui ont eu le F-GGED en charge est fournie en annexe 9.

112.23 - Communications téléphoniques

Les communications téléphoniques entre le CRNA Est et l'approche de Strasbourg sont enregistrées. La transcription de la seule communication ayant trait au F-GGED est jointe en annexe 10.

CHAPITRE 1.13 - RENSEIGNEMENTS SUR L'EPAVE ET SUR L'IMPACT

113.1 - Description de l'épave et du lieu d'impact

Note: L'annexe 16 contient des photos du site et de l'épave

113.11 - description du lieu de l'accident

Dans les jours qui ont suivi l'accident, plusieurs relevés ont été faits:

- un relevé topographique du lieu de l'accident et de la hauteur des arbres coupés par l'avion joint en annexe 2;
- un plan de répartition des débris joint annexe 3;

Le lieu de l'impact est situé sur le versant sud-ouest du mont "la Bloss" qui culmine à 823m (voir carte en annexe 1). Les débris sont répartis sur une aire comprise entre 48°25'40" et 48°25'37" en latitude Nord et 7°24'22" et 7°24'15" en longitude Est, pour une altitude du sol comprise entre 795 et 810 m dans le système de référence NGF normal de l'IGN.

A cet endroit, la pente du sol est ascendante. La valeur de la déclivité varie entre 8 et 17 % . Une forêt de résineux d'environ 25 mètres de haut recouvre l'ensemble de la zone. La distance sur laquelle les arbres ont été endommagés est d'environ 120 mètres.

Les mesures pratiquées sur des arbres endommagés ont permis d'estimer que l'avion est entré dans les arbres selon un plan de descente d'environ 12° et avec une inclinaison de l'ordre de 14° à gauche. Cette inclinaison a ensuite augmenté jusqu'à environ 18° quelques 30 mètres plus loin.

113.12 - Répartition de l'épave

Dès les premiers impacts avec les arbres, des éléments de l'avion se sont détachés. Le premier élément retrouvé est un morceau de nacelle du moteur gauche qui se trouve près du pied du premier arbre endommagé. Viennent ensuite de nombreux morceaux de voilure gauche, d'empennage, de carénage inférieur de fuselage, de trappe de train d'atterrissage et d'éléments de cockpit dont un balai d'essuieglace et des morceaux de radome.

Les premières traces d'impact de l'avion sur le sol sont situées une trentaine de mètres après les premiers arbres endommagés. Dans cette zone, on trouve également une des jantes du train avant et son pneu.

On trouve ensuite de nombreux morceaux de petit volume; parmi ceux-ci, le montant central de pare-brise enchâssé dans une souche et un morceau du cadre 64 (ce cadre est situé en arrière du dernier hublot), ainsi que le vérin de manoeuvre de la porte cargo avant.

Après ces débris on trouve les premiers éléments volumineux de l'épave.

A environ 40 mètres des premières traces d'impact sur le sol se trouve la structure arrière de l'avion contenant l'empennage et le cône de queue qui contient le groupe auxiliaire de puissance (APU). Celui-ci n'a pas souffert du feu qui a sévi en avant de sa cloison pare-feu, et il est quasiment intact. La vanne de prélèvement d'air est en position fermée. La vis du Plan Horizontal Réglable (PHR) a été retrouvée intacte. L'écrou se trouve à une distance de 24,5 cm (28 filets) du roulement de sortie du vérin. Cette valeur correspond à une position de PHR de 3,7° à cabrer.

L'empennage est fortement endommagé par l'impact et le feu. La structure dans la zone située entre la cloison pare-feu APU et le cadre 65 a été entièrement détruite par le feu. Les résines des parties composites (dérive et PHR) sont entièrement consumées. La cloison de pressurisation est également détruite par le feu. Les enregistreurs (CVR et DFDR), installés dans cette zone, y ont été retrouvés.

Le cône de queue, en arrière de la cloison pare-feu de l'APU, n'est endommagé ni par le feu ni par l'impact.

Quelques mètres en avant de l'empennage, on trouve la partie arrière du plancher de la cabine passagers comprise entre les cadres 64 et 57. Sur ce plancher se trouvent, du côté gauche, les sept derniers rangs de sièges passagers, et du côté droit, le dernier rang de sièges passagers et le siège du PNC. Le siège PNC côté gauche ne se trouve plus sur le plancher. Les sièges passagers sont relativement peu endommagés. Le quart

inférieur droit du fuselage entourant normalement ces sièges se trouve sous cette partie de plancher. Le quart supérieur droit de cette partie de fuselage a été détruit par le feu. La partie restante a été retrouvée attachée au tronçon central de fuselage.

Quelques mètres à gauche du plancher cabine se trouve un tronçon d'aile gauche et son mât réacteur.

A côté du tronçon d'aile gauche se trouve la jambe de train principal gauche qui est brisée transversalement au niveau du fût.

A droite du cône de queue, dans le sens de la trajectoire, on trouve un morceau d'aile droite avec la jambe de train principal droit en position sorti.

Une quinzaine de mètres en aval du plancher de la cabine arrière se trouve le tronçon central de fuselage compris entre les cadres 35 et 47. Cette section est peu endommagée mécaniquement. Par contre, elle a souffert d'un feu extérieur, surtout sur sa partie droite. Tous les sièges qui y étaient situés, ainsi que leurs occupants, ont été projetés à l'extérieur vers l'avant.

Dans cette zone du tronçon central ont été également retrouvés une armoire de la soute électronique, de nombreux calculateurs ou parties de calculateurs, et le QAR. Le boîtier, fortement endommagé, de la balise de détresse se trouvait également dans cette zone.

Le reste de l'avion, c'est à dire la plus grande partie, est réparti sur toute la zone dans un état de dislocation intense. En particulier, le cockpit, et plus généralement toute la partie située entre la pointe avant et le cadre 35, (cadre situé au niveau du bord d'attaque de l'aile) a été disloqué par les impacts successifs contre le sol et les arbres et ses éléments ont été retrouvés répartis sur une grande surface et dans un état de fragmentation important.

113.13 - Réacteur gauche

Le réacteur gauche est détaché de son mât. Il est sectionné en deux parties, le plan de séparation étant à l'interface du carter intermédiaire et du compresseur haute pression. La partie avant (le carter de fan) repose à plat, les aubes de fan regardant vers le ciel, carter très déformé. Aucune aube n'est manquante, quelques-unes sont rompues, la plupart des autres, déformées, portent de nombreuses traces d'ingestion de bois. Les vannes de décharge du compresseur basse pression (VBV) sont en position ouverte. Un vérin de commande du stator à calage variable du compresseur haute pression (VSV) est en position tige sortie (VSV fermée).

De nombreux équipements du moteur, fixés à la périphérie du carter de fan, ont été arrachés et disséminés sur le site.

La partie arrière (compresseur haute pression, chambre de combustion, turbines haute et basse pression, tuyère), se trouve coincée sous un élément de fuselage, axe de rotation sensiblement horizontal.

Le dispositif d'inversion de poussée a été très endommagé en particulier au niveau des attaches sur le mât, déformées et rompues. Deux des vérins hydrauliques de commande d'inversion de poussée sont visibles. Leurs tiges sont en position rentrée.

Les deux parties du réacteur ne portent pas de traces de feu significatives.

113.14 - Réacteur droit

Le réacteur droit est resté entier et attaché à son mât sur un tronçon de voilure, son axe de rotation étant sensiblement horizontal dans le sens de la trajectoire.

Aucune aube de fan ne manque, certaines sont rompues, la plupart sont déformées et portent de nombreuses traces d'ingestion de bois. Les vannes de décharge du compresseur basse pression (VBV) sont en position ouverte et les vérins de VSV en position tige sortie (VSV fermée).

Comme sur le moteur gauche, de nombreux équipements du moteur, fixés sur le carter de fan, ont été arrachés et disséminés sur le site.

Le dispositif d'inversion de poussée a subi des dommages importants, son système de fixation arrière est arraché. Le demi inverseur droit est resté en place, ses deux volets sont fermés.

Ce réacteur ne porte pas de traces visibles de feu.

113.15 - Examen des commandes, gouvernes et indicateurs

La commande de volets, retrouvée en avant du tronçon central de fuselage, était prise dans un bloc de glace. Elle était positionnée entre les repères 2 et 3.

Plusieurs "rotary actuators" de volets et de becs indiquent que les volets étaient sortis sans que l'on puisse en déterminer la position exacte par simple examen visuel. Il a donc été procédé à des mesures précises sur ces éléments. Le report sur un avion identique des valeurs relevées a permis de déterminer que les volets étaient braqués en position 2, soit 15°, au moment de l'impact.

Des mesures ont également été faites sur des rails de becs. Le report sur un avion identique des valeurs trouvées a montré que les becs étaient sortis à 22° au moment de l'impact.

La commande de spoilers a été retrouvée une dizaine de mètres en arrière de l'empennage. Elle est en position "spoilers rentrés". Cette commande a été tordue par l'impact, et l'emplacement de sa déformation montre qu'elle se trouvait effectivement dans cette position "spoilers rentrés" au moment de l'impact.

Plusieurs vérins de spoiler ont été retrouvés. Ils ne permettent pas de conclure sur la position des spoilers à l'impact. En effet, lorsque la pression hydraulique disparaît, les vérins reviennent à leur position de repos qui correspond à la position spoilers rentrés. Par contre, la plupart de ces vérins sont restés solidaires d'une partie au moins des panneaux mobiles qu'ils commandaient, qui sont relativement peu endommagé. Compte tenu de la dislocation de la structure de la voilure, il est permis de penser que ces panneaux de spoilers auraient subi d'importants dommages s'ils avaient été déployés au moment de l'impact. Il est donc vraisemblable que les spoilers aient été rétractés, ou faiblement braqués (fonction roulis) à l'impact.

La commande de manoeuvre du train d'atterrissage, trouvée à droite de l'empennage était verrouillée sur la position "sorti".

L'horizon artificiel de secours, retrouvé en arrière de l'empennage, était bloqué dans la position 25° à piquer et 20° d'inclinaison à gauche.

L'altimètre de secours, retrouvé en avant du tronçon central de fuselage, était calé entre 1023 et 1024 Hpa. Son aiguille était cassée. Le tambour, qui semblait toujours fonctionner, indiquait entre 2000 et 3000 pieds.

113.2 - Synthèse concernant l'examen de l'épave

L'examen de l'épave montre que toutes les extrémités de l'avion ainsi que toutes ses parties mobiles étaient présentes sur le site. L'avion n'a donc pas subi de rupture antérieure aux impacts avec les arbres et le sol.

La répartition de l'épave et les traces sur les arbres laissent penser que l'avion était en vol piloté au moment de l'impact. Le plan de descente était de l'ordre de 12° et l'inclinaison d'une quinzaine de degrés à gauche.

La comparaison de la trajectoire et de l'axe des éléments importants, en particulier le tronçon central de fuselage, montre que, après le premier impact, l'avion a glissé dans les arbres en dérapage à droite.

La partie arrière du fuselage s'est détruite sous des efforts latéraux. Elle a été arrêtée dans sa course par des arbres et a subi les à-coups des ruptures successives des éléments de voilure. Dès le contact avec le sol, la pointe avant s'est désintégrée, comme le montre la dispersion des éléments du cockpit et de la partie avant de la cabine sur l'ensemble du site. La partie inférieure du fuselage avant a été arrachée au fur et à mesure de la progression dans les arbres. La partie supérieure s'est déversée sur le sol jusqu'à son enroulement sous la

partie centrale.

L'examen de l'épave a également permis de déterminer la configuration avion suivante :

- train sorti
- volets sortis à 15° et becs sortis à 22°, ce qui correspond à la position 2 de la commande de becs et de volets.
- position du PHR : 24,5 cm entre l'écrou et le roulement de sortie du vérin électrique. Cette valeur correspond à un braquage du PHR de 3,7° à cabrer.
- spoilers rentrés au moment de l'impact.

CHAPITRE 1.14 - RENSEIGNEMENTS MEDICAUX ET PATHOLOGIQUES

114.1 - Commandant de bord

114.11 - Dossier médical

L'analyse du dossier médical d'expertise du commandant de bord et les différents éléments du dossier de l'enquête ne font apparaître aucun élément permettant d'étayer l'hypothèse d'une incapacité subite en vol.

114.12 - Analyses toxicologiques

L'identification des restes mortels du commandant de bord n'a pu être effectuée que par analyse génotypique (rapprochement des fragments issus d'un même corps puis recherche d'un éventuel lien de parenté avec ses ascendants). Bien que la reconstitution du corps n'ait pas été complète, l'identification est formelle.

Plusieurs prélèvements ont été effectués à fin d'analyse: un échantillon de sang, un échantillon d'humeur vitrée (oeil), un fragment de foie.

L'échantillon de foie a servi à une double recherche toxicologique, par immunofluorescence et par chromatographie en phase gazeuse. Ces analyses n'ont mis en évidence aucune substance médicamenteuse ou toxique de la série suivante: benzodiazépines, antidépresseurs tricycliques, barbituriques, opiacés, dérivés de la cocaïne, dérivés des amphétamines, cannabinoïdes.

Les dosages d'alcool éthylique ont été effectués par chromatographie en phase gazeuse complétée par une détection spécifique par spectrographie de masse, chromatographie en phase liquide et détection spectrophotométrique. Cet ensemble de techniques permet de doser l'alcool éthylique de façon très spécifique. Sur le prélèvement de sang, l'analyse a montré un taux d'alcool éthylique de 0,28 g/l ; par contre, aucune trace d'alcool éthylique n'a été retrouvée au niveau de l'échantillon de l'humeur vitrée. Cette discordance peut s'expliquer par une formation d'alcool éthylique post-mortem, par fermentation des sucres contenus dans le sang, au cours de processus inéluctables de fermentation. Ce mécanisme n'existe pas dans l'humeur vitrée, tissu exempt de sucres fermentescibles. Le taux d'alcool (nul dans le cas présent) retrouvé dans l'humeur vitrée à distance de la mort est actuellement considéré comme très proche du taux sanguin au moment de la mort.

Dans ces conditions, il est licite de considérer que le commandant de bord ne présentait aucune cause connue ou décelable d'incapacité subite en vol et qu'il n'a été détecté aucune trace d'intoxication éthylique, toxique ou médicamenteuse.

114.2 - Copilote

114.21 - Dossier médical

Le dossier médical d'expertise du copilote fait état de quelques troubles, qui ne remettaient pas l'aptitude en cause : excès pondéral, dyslipidémie modérée, augmentation des gamma-GT plasmatiques depuis au moins 3 ans, tendance à l'apparition d'hypertension artérielle progressive.

Devant l'existence de facteurs de risque, le copilote a subi un test d'effort en février 1991, test considéré comme n'ayant montré aucune anomalie cardiaque. L'expert notait dans le compte-rendu de visite du 25 septembre 1991 "à revoir dans trois mois pour contrôle clinique et biologique". Il n'y a pas de trace d'une nouvelle visite au CEMPN depuis cette date, mais elle n'avait pas de caractère obligatoire.

114.22 - Analyses toxicologiques

Le rapport d'expertise médico-légale fait état de restes mortels très fragmentés et partiellement carbonisés. Sept éléments ont été identifiés, ne permettant pas de reconstituer l'ensemble du corps. La reconstitution du corps a pu être établie par l'étude comparative des génotypes des différents fragments, sans qu'il ait pu être effectué d'identification par lien de parenté. L'identification du corps du copilote est cependant formellement établie par concordance partielle des données odontologiques ante-mortem et post-mortem, par son collier de barbe et par ses effets vestimentaires.

Un fragment de muscle strié et un fragment de paroi gastrique ont été prélevés pour analyse. La recherche de substances toxiques ou médicamenteuses a été effectuée dans les mêmes conditions que précédemment décrites pour le pilote. Elle n'a mis en évidence aucune des substances recherchées.

La recherche d'alcool éthylique a été réalisée dans les mêmes conditions que pour le pilote. Elle a montré comme résultats: 0,90 mg/g (milligrammes par gramme de tissu humide) dans le prélèvement musculaire et 0,31 mg/g (idem) dans le prélèvement de paroi gastrique.

Il est difficile d'interpréter des résultats de dosage d'alcool sur des débris tissulaires qui ont été le siège de modifications biochimiques complexes. Avec une grande prudence dans l'interprétation, ces résultats permettent d'évoquer la néoformation post-mortem d'alcool éthylique dans le fragment musculaire par fermentation des sucres issus des substrats énergétiques musculaires. Il semble cependant que la concentration mesurée en éthanol (0,90 mg/g) soit trop élevée pour pouvoir être attribuée uniquement à cette cause. A l'opposé, la concentration mesurée dans la paroi gastrique, qui ne présente pas la même richesse que le muscle en substrats énergétiques, semble devoir être un bien meilleur indicateur de la concentration sanguine de l'alcool éthylique au moment de la mort. La commission ne peut donc exclure l'hypothèse d'une alcoolémie non nulle au moment de l'accident. Dans ce cas, il est possible de retenir le taux de 0.30 g/l au plus comme alcoolémie probable à cet instant.

Le copilote présentait les signes métaboliques et enzymatiques généralement retrouvés chez les sujets consommateurs habituels de boissons alcoolisées, sans toutefois que ces signes soient suffisants pour entraîner une décision d'inaptitude. Il est donc possible de penser qu'une certaine consommation de boissons alcoolisées par ce sujet était habituelle.

Les éléments disponibles montrent donc, avec toute la prudence qui s'impose, que le copilote consommait probablement de façon usuelle une certaine quantité de boissons alcoolisées et que, au moment de l'accident, son alcoolémie était inférieure ou égale à 0,30 g/l. Dans l'hypothèse d'un taux d'alcool non nul, compte tenu des imprécisions des données actuelles de la science, il n'est absolument pas possible d'évaluer quelle aurait pu être l'alcoolémie du copilote au moment de sa prise de service.

CHAPITRE 1.15 - INCENDIE.

Les analyses anatomo-toxicologiques pratiquées sur les victimes permettent de dire qu'il n'y a eu ni incendie ni dégagement de fumées toxiques avant l'impact. Il n'a en effet été retrouvé aucune trace de fumées, gaz ou matières dans les voies respiratoires de ces victimes.

Trois foyers d'incendie ont été constatés sur le site de l'accident (voir croquis en annexe 4).

Le dossier de vol de l'avion permet d'évaluer à environ 4500 litres la quantité de carburant encore présente dans les réservoirs au moment de l'accident. Une partie du kérosène a pu être pulvérisé sur le site lorsque les

ailes ont été arrachées.

Bien que n'ayant pu être identifiée formellement, l'origine la plus probable des foyers d'incendie est l'inflammation du kérosène entrant en contact avec des parties chaudes des réacteurs.

A l'état vapeur, le kérosène peut être enflammé en présence d'une flamme ou d'une étincelle dès que la température atteint 42 °C ("point éclair"). A l'état liquide, en contact avec une source de chaleur dont la température est supérieure à 250° C, le kérosène s'auto-enflamme.

Du point de vue de l'extension des foyers, celui situé dans la zone avant a été le plus important . Il s'est probablement déclaré au moment de l'impact ou très peu de temps après. Des examens réalisés sur des pièces d'alliage à base de titane et des amalgames d'alliage à base d'aluminium ont montré que la température maximale à laquelle ces éléments de l'épave ont été soumis était de l'ordre de 700 °C.

Le foyer situé dans la zone centrale, à droite du fuselage, semble s'être propagé à retardement par écoulement de carburant provenant sans doute des restes d'un réservoir de l'aile droite. En effet, un survivant grièvement blessé aux chevilles a témoigné avoir été brûlé bien après le crash malgré ses efforts pour s'éloigner du feu en progression. Il semblerait, toujours d'après son témoignage, que deux passagers survivants mais très grièvement blessés, aient été atteints et carbonisés par le carburant enflammé qui se répandait.

Le foyer situé dans la zone arrière est moins étendu que les premiers. Il semble avoir été essentiellement alimenté par le carburant destiné à l'APU. Les enregistreurs CVR et DFDR ont été retrouvés dans cette zone. Les examens réalisés sur ces enregistreurs (voir § 112.15) ont permis d'évaluer à 700 °C la température atteinte sur un flanc du carter du DFDR. L'examen d'un amas d'alliage d'aluminium dans lequel étaient coincés des fils de cuivre, et d'une tôle à base d'aluminium, a permis d'estimer que localement dans la partie arrière la température maximale atteinte était comprise entre 500 et 800 à 1000 °C.

CHAPITRE 1.16 - QUESTIONS RELATIVES à LA SURVIE DES OCCUPANTS

116.1 - Aspects relatifs à la cabine

116.11 - Consignes et procédures du personnel navigant commercial

Les consignes et procédures des personnels navigants commercial (PNC) et technique (PNT) énoncées ci-après sont extraites du manuel d'exploitation en vigueur à Air Inter à l'époque de l'accident.

Les actions du PNC sont commandées par les actions du personnel navigant technique. Avant la descente, le PNT annonce sur Public Address l'imminence de la descente. En passant le niveau 100 en descente, le pilote aux commandes (PF) annonce 10000 pieds, le PNF place l'interrupteur "attachez vos ceintures" sur "ON". Avant l'atterrissage, l'allumage de la consigne "Défense de fumer" est commandé par le verrouillage bas du train d'atterrissage (lorsque l'interrupteur "No smoking" a été positionnée sur AUTO par l'équipage technique).

116.111 - Composition réglementaire de l'équipage commercial

Pour moins de 200 passagers l'équipage commercial de base se compose de 4 PNC dont un chef de cabine (C/C) répartis comme suit:

- C/C siège A1 entrée avant gauche
- PNC A2 siège A2 entrée avant gauche
- PNC A3 siège A3 arrière cabine, dans le couloir au niveau des derniers sièges
- PNC A4 siège A4 entrée arrière gauche, dans le local de travail.

116.112 - Procédures suivies par l'équipage commercial

. Descente

A l'allumage de la consigne "Ceinture", C/C effectue l'annonce prévue ou s'assure qu'elle a été faite. A2 et A3 vérifient que tous les passagers sont assis et attachés et que tous les coffres à bagages sont fermés, puis A2, A3 et A4 inspectent les zones vulnérables (poubelles, cendriers, panneaux électriques, arrêt de l'alimentation des chauffe-eau, toilettes), A1 vérifie que le voyant "caution" est éteint, A2, A3, A4 font un compte rendu au Chef de cabine, qui rend compte au commandant de bord.

. Avant atterrissage

A l'allumage de la consigne "Défense de fumer" C/C effectue l'annonce "veuillez relever vos tablettes" ou s'assure qu'elle a été faite. A2 et A3 vérifient que les tablettes sont relevées, que les toilettes sont libres, et qu'aucun objet n'encombre les allées et n'entrave le libre passage vers les issues d'ailes. A2 et A4 vérifient le verrouillage des galleys, A2 et A4 ouvrent et bloquent les rideaux, A2 ou A3 ouvrent le rideau mobile.

Au plus tard à l'appel de C/C par interphone tous les PNC doivent être assis et attachés.

116.12 - Configuration cabine en descente et au moment de l'impact

D'après la transcription du CVR, l'annonce par le PNC du début de descente est faite 12mn31sec avant l'impact final. Il ne semble pas qu'il y ait eu une quelconque annonce du PNT sur le public address ou sur l'interphone.

Deux minutes plus tard, le PNC demande aux passagers d'attacher leurs ceintures. Cette annonce semble faire suite à l'allumage par le PNT de l'indicateur "attachez vos ceintures". L'avion passe le niveau 100 en descente, le copilote effectue sa check-list et annonce "Seat belts on".

Le levier de sortie du train est actionné 55 secondes avant l'impact, l'annonce par le PNC de vérifier que les ceintures sont attachées et les tablettes relevées commence 43 secondes et se termine 11 secondes avant l'impact.

L'hôtesse en A4 est attachée. D'après son témoignage, sa collègue, assise normalement en A3, lui a offert d'effectuer la vérification de la cabine pendant qu'elle même, avant de s'attacher, terminait le rangement et le verrouillage du galley.

Il apparaît que toutes les consignes ont été appliquées, dans un temps relativement court.

Tous les passagers étaient très probablement attachés au moment de l'impact.

116.13 - Répartition à bord des survivants à l'accident

Huit passagers et une hôtesse ont survécu à l'accident. Sur ces neuf survivants huit étaient installés dans la partie extrême arrière de la cabine. Le neuvième survivant était assis au rang 14 côté hublot au niveau du milieu de l'aile gauche (voir le plan de répartition des survivants en annexe 5). Ce passager, victime de multiples fractures aux chevilles, semble avoir été éjecté au moment de l'impact (il se souvient parfaitement s'être sanglé de manière un peu lâche avec sa ceinture, et être revenu à lui à l'extérieur de l'avion).

116.14 - Causes des décès

Les victimes ont subi un choc frontal très violent. Un certain nombre d'entre elles ont de plus été totalement ou partiellement carbonisées.

Aucune trace de suie ou d'oedème pulmonaire n'a été trouvée à l'examen des voies aériennes supérieures et des poumons, ce qui aurait été le signe d'un incendie ou d'une explosion avant l'impact.

Toutes les victimes avaient subi des polytraumatismes. Certaines lésions ont été fréquemment observées au niveau de la tête, de la ceinture pelvienne, et de l'extrémité des membres inférieurs, par les médecins qui ont examiné les corps. Selon ces médecins, les lésions constatées au niveau de la tête pourraient être dues au

choc contre la structure du dossier de siège situé devant le passager. Les lésions de la ceinture pelvienne seraient dues aux ceintures de sécurité qui, pour autant qu'on puisse le savoir, ne se sont pas rompues. Les lésions de l'extrémité des membres inférieurs pourraient être dues à la partie inférieure de la structure des sièges et à leurs attaches sur le plancher de l'avion.

Ces différentes lésions ont, d'après le rapport de l'institut de médecine légale de Strasbourg, provoqué la mort immédiate de quatre-vingt-une victimes (on a compté dans cette catégorie les deux victimes présumées dont les restes n'ont pas été identifiés). Ce même rapport précise que, sur les six victimes dont le décès est intervenu après l'impact, deux auraient probablement survécu si les secours étaient intervenus dans les deux premières heures (elles sont décédées pendant leur transport). Les quatre autres auraient peut-être pu avoir une chance de survie si les secours étaient intervenus dans les trente premières minutes.

116.15 - Résistance des sièges et ceintures

116.151 - Matériau de l'expertise

Bien qu'une sélection de sièges et de rails supports de sièges ait été faite sur le site de l'accident aux fins d'expertise, seule une partie de ces pièces a pu être examinées. Des sièges situés à l'avant et au milieu de l'appareil et qui avaient été sélectionnés pour examen ultérieur n'ont pas été correctement isolés du reste de l'épave et ont été détruits.

Seuls ont été préservés les trois sièges du rang 29 gauche et un pied arrière d'un siège dont on ne connaît pas la position sur l'avion.

116.152 - Rappel des normes de résistance des sièges

Les sièges qui équipaient le F-GGED étaient conçus, conformément aux normes en vigueur, pour résister en statique aux facteurs de charge suivants :

2 g vers le haut (g=9,81 m/s²)

9 g vers l'avant

1,5 g en latéral

4,5 g vers le bas.

116.153 - Résultats

Résultat de l'examen des sièges de la rangée 29 gauche: les ruptures et déformations constatées ont probablement pour origine des efforts en flexion sous l'effet d'un facteur de charge s'exerçant essentiellement suivant un axe horizontal et parallèle à l'axe longitudinal de l'avion, et s'appliquant à une banquette chargée dissymétriquement (un seul passager assis côté hublot: voir en annexe 5 le schéma de répartition à bord des survivants).

Résultat de l'examen d'un pied arrière de siège: le pied a cassé en flexion, probablement sous l'effet d'un couple de forces. Il est à noter que les contraintes subies ont été multidirectionnelles et supérieures à celles subies par la rangée 29 dont les pieds arrière n'ont apparemment pas été déformés.

Ces examens ne permettent pas d'évaluer précisément les facteurs de charge auxquels ont été soumis les sièges, d'autant que les efforts ont pu être appliqués suivant différentes directions entre l'instant où l'avion a percuté le sol et celui où il s'est immobilisé.

Ces examens ne fournissent pas non plus d'éléments significatifs supplémentaires pour expliquer le nombre et la répartition des survivants.

Il convient de noter qu'en ce qui concerne les caractéristiques des sièges, les normes ont évolué. Ce type de siège n'est plus utilisé pour des raisons commerciales et parce qu'il comporte trop d'habillages en

polycarbonate dangereux en cas de choc. De plus, de nouvelles normes de résistance ont été définies pour les sièges équipant les nouveaux types d'avions: les facteurs de charge appliqués lors des essais de résistance en statique ont été augmentés pour certaines directions d'application (ex : 4 g en latéral, au lieu de 1,5), tandis que des conditions de résistance des sièges soumis à des essais dynamiques ont été introduites et que des critères concernant les conditions de survie au choc ont été renforcés. Le type de siège équipant le F-GGED a passé avec succès les essais de démonstration de conformité à la nouvelle norme en ce qui concerne le critère HIC (Head Injury Criteria).

116.2 - Organisation des recherches

116.21 - Aspects réglementaires

L'organisation et le fonctionnement des services de recherche et de sauvetage des aéronefs en détresse en temps de paix sont prévus par l'instruction interministérielle du 23 février 1987.

Cette instruction attribue la direction générale des opérations au Centre de Coordination et de Sauvetage (RCC) géographiquement compétent. Cet organisme dépend du commandement opérationnel de zone de l'Armée de l'Air.

Le RCC détermine en particulier la zone probable de l'accident et les zones de recherches. Il assure la conduite d'ensemble des recherches et gère directement les moyens aériens, alors que la conduite des opérations de secours terrestres est déléguée au préfet du département.

L'organisation et les procédures appliquées par le service d'alerte sont fixées par le règlement de la circulation aérienne (RCA 3-7 & 5-6). Les délais de déclenchement des phases d'urgence en cas de perte simultanée de contacts radio et radar sont respectivement de cinq minutes pour l'ALERFA et de dix minutes pour la DETRESFA.

L'instruction du 23 février 1987 est complétée par le protocole d'accord SATER du 8 septembre 1987 qui précise l'organisation des différentes phases des recherches terrestres.

Il s'agit des mesures SATER/1 (demande de renseignements n'impliquant aucun déplacement), SATER/2 (recueil auprès de la population d'une zone déterminée d'un maximum d'informations) et SATER/3 (recherches approfondies sur le terrain lorsque le secteur dans lequel l'aéronef est recherché est localisé avec suffisamment de certitude). Le déclenchement de SATER/3 conduit à l'établissement d'une liaison permanente entre le RCC et la préfecture concernée.

116.22 - Déroulement des recherches

La commission a reconstitué sommairement les opérations de recherches et de secours présentée à partir des comptes-rendus établis par le RCC de Drachenbronn et par la Préfecture du Bas-Rhin, et des témoignages recueillis par la gendarmerie.

L'alerte a été déclenchée à 18h31 par l'approche de Strasbourg qui a prévenu le centre de coordination et de sauvetage (RCC) de Drachenbronn, le centre de contrôle de Reims (CRNA Est) et la préfecture du Bas-Rhin (18h34).

A 18H34, le RCC a déclenché auprès de la préfecture le plan SATER/2, dans une zone centrée sur le Mont Sainte-Odile. Cette mesure a été confirmée au Directeur de la protection civile et au Groupement de gendarmerie de Strasbourg respectivement à 18H39 et 18H43. A 18h56, la préfecture a demandé aux radio amateurs de rechercher une éventuelle émission sur les fréquences de détresse (121,5 et 243 MHz).

A 19h09, la préfecture, sur demande du RCC, a déclenché la mesure SATER/3 dans un premier secteur de recherches entre le Mont Sainte-Odile et Andlau, étendu à 19h30 à un quadrilatère Mont Sainte-Odile, Barr, Andlau, Le Hochwald.

Une Alouette III de la sécurité civile basée sur l'aérodrome de Strasbourg-Entzheim, a décollé à 19h13. Cet appareil a effectué des recherches visuelles à l'ouest d'une ligne rejoignant Barr au château de Landsberg.

Cette zone se situait dans le quadrilatère défini mais ne couvrait pas totalement certains sommets, dont le Mont Sainte-Odile et la Bloss, couverts par des formations nuageuses.

Les radio-amateurs sont arrivés au Mont Sainte-Odile à 19h20 et n'ont entendu aucune émission de balise de détresse. Par la suite, douze équipes de deux radio-amateurs se sont répartis sur le terrain et ont participé aux recherches terrestres.

Le RCC a donné successivement à 19h40 et à 21h32 l'ordre de décollage à deux hélicoptères Puma équipés de jumelles de vision nocturne. Compte-tenu des conditions de vol rencontrées (vol de nuit dans le relief avec crêtes accrochées et risque de givrage), ces recherches, qui sont restées vaines, ont été effectuées hors nuages, en-dessous de 600 m QNH.

Le RCC a demandé à 18h41 la restitution de l'enregistrement du radar de Drachenbronn et des dispositions similaires ont été prises par le CRNA Est. Les restitutions correspondantes n'ont été mises à la disposition du RCC respectivement qu'à 20h10 et à 22h04, compte tenu des moyens de restitution des trajectoires radar existant dans ces centres à la date de l'accident, et des procédures en vigueur quant à leur mise en oeuvre. Ces éléments n'ont permis au RCC de préciser et de réduire que très progressivement le polygone des recherches terrestres tel qu'il avait été défini à 19H09 et 19H30.

Les recherches se sont donc déroulées essentiellement à l'aide de moyens terrestres à partir d'un PC opérationnel (PCO) qui s'est installé à 20h45 à la gendarmerie de Barr. Elles ont été conduites avec des moyens croissants en fonction des informations disponibles au PCO et au RCC. Leurs composantes principales ont été les suivantes :

- de 19h40 à 21h environ, 24 patrouilles de gendarmerie ont sillonné, par la route, le premier quadrilatère défini ainsi que les vallées d'Andlau et de Villé et le secteur d'Obernai-Ottrot.

- à partir de 20h00, les centres de secours de Villé, Schirmeck et Urmatt ont effectué des recherches dans un secteur situé dans l'ouest du Mont Sainte-Odile pour environ 5 km.

- à 20h15, le RCC a confirmé la zone de recherches définie à 19h09 en demandant que les ratissages soient concentrés dans la région de Buchenberg. Deux patrouilles de gendarmes ont été dépêchées sur les lieux; leurs investigations n'ont rien apporté.

- en fonction des indications données au PCO par deux agents d'Air Inter sur le point survolé par l'A320 lors de son dernier contact radio (Breitenbach), trois zones de recherches de 3 km de côté ont été définies à 20h45, assorties d'un ordre de priorité décroissant.

La zone N°1 était centrée sur La Bloss et l'intention était d'y engager les forces de gendarmes mobiles au fur et à mesure de leur arrivée pour qu'elles ratissent ce secteur avec l'aide des sapeurs-pompiers et des guides du Club Vosgien.

Le déploiement des différentes équipes de recherche dans cette zone a été effectué de 21h00 à 21h35:

- à 21H25, le RCC a demandé d'accentuer les recherches sur un axe orienté au 320° partant du château de Landsberg vers le point coté 826 (La Bloss).

- à 22h04, le RCC a donné à la préfecture les coordonnées du dernier plot enregistré par le CRNA Est (48° 25' 37N ; 007° 24' 42E) en précisant que l'appareil pouvait se trouver vers la cote 826 (La Bloss).

- à 22h10, il a été demandé à un régiment de l'Armée de Terre (200 personnes) de partir ratisser la zonen°2 (mission annulée à 22h20 en fonction de derniers témoignages reçus et confirmant l'orientation des recherches sur le massif de La Bloss).

Un rescapé valide a pu rejoindre la route et indiquer l'emplacement de l'épave, ce qui a permis l'intervention

d'un groupe de gendarmerie mobile, qui a rejoint l'épave à 22h35.

Il faut noter qu'un nombre important de véhicules privés a afflué très rapidement sur toutes les routes donnant accès au Mont Sainte-Odile, comme conséquence, semble-t-il, des annonces faites par les médias (notamment par les radios locales).

Note : Moyens mis en oeuvre:

- Gendarmerie (Mobile et Territoriale) : 350 personnes,

- Armées de l'Air et de Terre : 400 personnes,

- CRS : 100 personnes dont 24 motards chargés de la circulation routière et du contrôle d'accès au site,

- Sécurité Civile : 100 personnes,

- Radio amateurs : 24 personnes,

- deux hélicoptères Puma de l'ALAT,

- un hélicoptère Alouette III de la Sécurité Civile.

116.3 - Organisation des secours

116.31 - Aspect réglementaire

En application de la loi du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, les préfectures doivent établir un plan d'urgence appelé "Plan Rouge".

Le Plan Rouge du Bas-Rhin, approuvé par arrêté préfectoral le 11 juin 1990, porte sur la mise en oeuvre des moyens de secours et des soins médicaux dans des circonstances telles que les moyens habituels seraient rapidement dépassés mais ne nécessitant pas le déclenchement du plan ORSEC.

116.32 - Déroulement des secours

Le Plan Rouge a été lancé à 18h40. L'organisation du poste de commandement opérationnel (PCO) a été réalisée dans les conditions suivantes:

- le PCO a été implanté à la brigade de gendarmerie de Barr. Le sous-préfet, directeur des secours, le colonel commandant les opérations de secours (COS) et le colonel commandant le groupement de gendarmerie se sont tenus exclusivement à ce poste de commandement.

- le regroupement des moyens de secours médicaux selon le schéma prévu par le plan rouge départemental, s'est effectué au centre de secours d'Obernai désigné à l'ensemble des services comme le point de première destination (PPD).

Ces localisations ont été choisies en fonction de leur position à proximité de la zone des recherches couvrant les deux accès principaux au massif (Barr et Ottrott).

Lorsque l'épave a été retrouvée les premiers secours ont été apportés par les premiers arrivés, c'est-à-dire les gendarmes mobiles, tous secouristes, rapidement rejoints par trois médecins militaires et un ou deux médecins civils. Des renforts ont été demandés d'urgence et les survivants ont tous été localisés avant 23h00.

Avant l'arrivée vers 23h20 de la première colonne de secours venant de Barr, quatre personnes jugées transportables par les médecins militaires ont été évacuées par les gendarmes mobiles vers le parking de la Bloss, où étaient garés les premiers véhicules de secours, soit à dos d'homme soit à bras soit encore à l'aide de brancards de fortune.

Sept autres personnes ont été évacuées entre 23h20 et 0h15 par des moyens identiques. Certaines d'entre elles ont été examinées et médicalisées sur le site par des médecins militaires.

La deuxième colonne de secours venant d'Obernai via Ottrott et apportant des brancards est arrivée environ 45 minutes après la première. Après une montée difficile due à l'état des routes et aux encombrements occasionnés par les curieux, la mise en place des véhicules a été compliquée par la présence d'un grand nombre d'autres véhicules (autres secours, service d'ordre, badauds, journalistes).

En montant vers le site de l'accident les médecins et secouristes ont croisé la colonne descendante. Les blessés ont alors été pris en charge sur des brancards et transportés sur la départementale où se trouvaient les ambulances.

C'est à partir d'environ 1h30 que les évacuations vers les hôpitaux de la région ont commencé.

Deux victimes sont décédées pendant l'évacuation primaire (du site de l'accident vers les ambulances).

CHAPITRE 1.17 - ESSAIS ET RECHERCHES.

117.1 - Expertise des ensembles propulsifs, de l'APU, et du carburant

117.11 - Expertises des moteurs

L'expertise des deux moteurs a été conduite à la SNECMA, dans ses locaux techniques de Villaroche.

Les démontages ont consisté à séparer les modules avant (module fan) et arrière (module turbine basse pression) et à effectuer le désassemblage du module haute pression.

Les constatations correspondantes sont résumées ci-après, et sont valables pour les deux moteurs.

117.111 - Rotors basse pression (BP) :fan, compresseur BP et turbine BP.

En phase de pénétration dans les arbres, les rotors BP tournaient comme le démontre la présence massive de gros morceaux de bois dans les soufflantes et la pollution de la veine d'air par des débris végétaux (en particulier, de la sciure), jusqu'au niveau du carter d'échappement. Cette pollution généralisée s'étend au compresseur BP, à la chambre de combustion, au distributeur de turbine HP (haute pression) et à la turbine BP.

A l'impact avec le sol, les rotors BP avaient fortement décéléré et, soit ne tournaient plus, soit tournaient à faible vitesse. En effet :

- la majorité des aubes de soufflante est déformée dans le sens de la rotation et vers l'arrière. Ceci est la conséquence de la déformation du carter de soufflante par l'impact au sol,

- les aubes mobiles et/ou fixes de turbine BP sont déformées et/ou sont rompues exclusivement au droit des déformations des carters. Ces dégâts prouvent qu'il n'y avait plus assez d'énergie dans les rotors pour forcer le passage des aubes au droit des déformations des carters.

117.112 - Rotors haute pression (HP)

Les aubes mobiles des étages de compression sont, soit rompues , soit déformées dans le sens inverse de la rotation, par suite des frottements radiaux sur les carters. Cette observation permet d'affirmer que les rotors HP tournaient pendant toute la phase de pénétration dans les arbres.

117.12 - Dispositif d'inversion de poussée

En ce qui concerne le dispositif d'inversion de poussée, l'exploitation des données ACARS et du QAR ne fait apparaître aucune anomalie, alors que toute panne importante se serait traduite par la création d'un message de panne "de classe 2", transmis par l'ACARS.

Des radiographies ont d'autre part été faites sur deux des vérins hydrauliques de commande des inverseurs. Celles ci confirment que les vérins étaient en position verrouillée (dispositif d'inversion de poussée non activé).

117.13 - Expertise de l'APU

L'APU est pratiquement intact. Le canal d'entrée d'air et la grille d'entrée d'air sont propres et exempts de toute ingestion de branchage ou d'aiguilles de sapin.

Sur le site, la vanne de prélèvement d'air a été trouvée fermée. La propreté de l'APU (à l'inverse de celle des moteurs) et la fermeture de la vanne d'air montrent que l'APU n'était pas en fonctionnement au moment de l'impact.

Les consignes de vol de la compagnie ne prévoient son utilisation en vol qu'en secours ou à l'atterrissage dans des conditions bien particulières, qui n'étaient pas celles régnant à Strasbourg ce jour là.

117.14 - Le carburant

Selon la feuille de masse et de centrage remplie par l'équipage, la masse de carburant au décollage de Lyon était de 5700 Kg, un complément de plein de 2800 litres ayant été effectué sur ce terrain par Air Total.

Une analyse du carburant - du kérosène type "JET A1" - prélevé à Lyon, a été effectuée au Centre d'Essais des Propulseurs (CEPr) de Saclay. Ce carburant est conforme aux spécifications techniques requises.

Parmi les paramètres enregistrés dans le QAR, figure le "fuel flow" (FF) qui mesure la consommation de carburant de chaque moteur. Cette consommation, à altitude constante, est fonction de la puissance moteur. L'examen du QAR pendant le palier avant l'atterrissage prévu, (par exemple, du temps QAR 2628 au temps QAR 2980) indique que les deux paramètres "FF" des deux moteurs suivent fidèlement les paramètres N1, indicatifs des puissances moteurs.

En conséquence, les moteurs étaient alimentés normalement en carburant pendant toute la durée du vol. Les calculs de consommation effectués ont permis d'estimer la quantité de carburant restant à environ 3700 Kg.

117.2 - Expertise des éléments des ATA 22, 27, 31, et 34

117.21 - Méthode générale

La recherche d'une possible défaillance d'un système des ATA 22, 27, 31 et 34 a été conduite en utilisant les documents et enregistrements suivants:

- les documents liés au F-GGED en particulier:

. l'ACARS du vol lyon-strasbourg

. les PFR des vols précédents

. les CRM et TSA (faits techniques)

. l'état technique

. la dernière visite de contrôle de type A

. les comptes-rendus d'incident rédigés par les commandants de bord et les chefs de cabine.

- les documents liés aux A320 exploités par Air Inter:

. NIT, CRM et TSA (faits techniques), database.

- les documents liés aux A320 en général:

. Manuel de vol, FCOM, OEB, TR, AOT, TFU, CN, SB, le document de certification "System Safety Assessment du Flight Management and Guidance System".

- les enregistrements disponibles:

. QAR, CVR;

. Mémoires non volatiles (CFDIU, FMGC, VOR, DME);

. ACARS, PFR;

. fréquence ATC, radar;

- des éléments d'épave:

.bandeau FCU, vis du PHR,...;

- des documents d'information aéronautique (AIP, NOTAM):

.Liste des stations de radionavigation déclarées hors service, contrôle des coordonnées des balises figurant en database.

- des simulations

.(par exemple pour déterminer le mode de pilotage, non enregistré sur le QAR)

- les rapports des contrôles en vol des stations de radio-navigation.

- des événements signalés par les exploitants.

Tous ces documents ont été complétés par des notes d'études spécifiques fournies par l'administration de l'aviation civile, l'exploitant, le constructeur et les équipementiers à la demande de la commission.

117.22 - Equipements ATA 31. Systèmes de visualisation électronique

117.221 - Les EFIS (Electronic Flight Instrument System)

Les enregistrements QAR, ACARS montrent que les éléments composant les visualisations électroniques de pilotage et de navigation (EFIS) étaient dans leur configuration nominale, sans panne détectée. La transcription du CVR ne comporte aucune mention relative à un éventuel dysfonctionnement des systèmes de visualisation (EFIS).

117.222 - Le HUD (Head Up Display)

Cinq minutes avant l'accident, le message HUD OHU/IDHUD a été transmis par le système ACARS. Ce message peut signifier que le HUD vient d'être mis sous tension mais n'est pas déployé, ou qu'un problème interne au viseur s'est, par exemple, traduit par la disparition de la symbologie. Mais ce message n'indique pas une panne susceptible de provoquer la visualisation d'informations erronées. L'écoute du CVR n'apporte aucune information supplémentaire.

117.23 - Equipements ATA 22

117.231 - Le FCU

117.231.1 - Le F-GGED était équipé du FCU S/N 200.

L'historique des modifications appliquées et des opérations d'entretien subies par le FCU S/N 200 depuis sa livraison à Air Inter a été établi:

Ce FCU a été monté sur le F-GJVE le 12 août 1991. Il a été déposé le 14 septembre 1991 à la suite d'un problème de sélection de vitesse (quelle que soit la sélection, la fenêtre d'affichage ne comportait qu'un point blanc suivi de tirets significatifs d'un paramètre managé). Installé le 8 octobre 1991 sur le F-GJVB, le FCU a été déposé le 11 décembre 1991 pour application de la SIL (Service Information Letter) qui doit supprimer les risques de perturbation de certaines fréquences VHF. Remonté le 13 décembre 1991 sur le F-GGEB, il a été déposé le 15 décembre 1991, à la suite de perturbations de certaines fréquences VHF. Il a été remonté le 19 janvier 1992 sur le F-GGED, en remplacement du FCU S/N 143 qui présentait un défaut d'éclairage intégré d'un bouton rotacteur de sélection d'échelle de carte.

L'application des service bulletins (SB) relatifs au FCU a fait l'objet d'un contrôle a posteriori auprès de l'équipementier Sextant : le Bureau Veritas a examiné l'ensemble du dossier de suivi de cet équipement. Aucune anomalie n'a été constatée.

En particulier, les modifications subies pour le passage du standard "K217 AAM5" au standard "K217 AAM5 ABC" étaient conformes à la définition approuvée par les services officiels et étaient effectives à partir du 20 novembre 1990.

L'état technique du F-GGED, daté du 20 janvier 1992, mentionne la mise en place récente de ce FCU sur le F-GGED. Le jour de l'accident, le FCU totalisait 597 heures de vol, dont 8 heures depuis son installation sur le F-GGED.

117.221.2 - Les seuls éléments du FCU récupérés sur le site sont le bandeau avant et deux des cartes de circuits intégrés qui appartenaient aux calculateurs de ce FCU : la carte ARINC du calculateur FCU1 qui ne possède pas de mémoires non volatiles, et une carte CPU dont le composant EEPROM était détruit.

Le bandeau avant a été fortement endommagé par l'accident. Les positions de quelques rotacteurs et boutons sélecteurs avaient été notées sur place par les enquêteurs:

- le sélecteur de mode d'affichage du ND1 était sur l'index Rose VOR, celui du ND2 sur l'index PLAN;

- les sélecteurs d'échelle côtés 1 et 2 étaient sur l'index 10 NM;

- côté commandant de bord, le sélecteur 1 ADF/VOR était manquant; le sélecteur 2 ADF/VOR était sur VOR;

- côté copilote, le sélecteur 1 ADF/VOR était en position neutre tandis que le sélecteur 2 était sur VOR.

Le FCU a fait l'objet d'un examen chez l'équipementier Sextant, en présence d'un enquêteur du BEA.

117.221.3 - Il a été constaté que :

- Les afficheurs à cristaux liquides (LCD) et les codeurs sont très endommagés ou absents. Il convient de noter qu'il n'est pas possible de connaître les valeurs affichées après coupure longue d'alimentation.

- Les éléments mécaniques sont endommagés ou absents. Le sélecteur de vitesse verticale VS (ou de FPA) est bloqué. Il convient de noter que la position de ce bouton ne peut en aucun cas indiquer la dernière valeur de paramètre sélecté.

- Les autres rotacteurs-sélecteurs sont cassés ou non bloqués. Côté commandant de bord, le sélecteur de mode d'affichage est sur la position "ILS", l'échelle sélectée étant de 20 NM. Côté copilote ces sélecteurs sont sur "PLAN" et 10 NM. On remarque que la position des sélecteurs a varié entre le moment où elles ont été notées sur le site (voir ci-dessus) et le moment où le FCU a été examiné chez l'équipementier. Il n'est pas possible d'affirmer que les sélecteurs VOR/ADF, les rotacteurs d'affichage des écrans de navigation et les rotacteurs de sélection d'échelle sont restés dans la position qu'ils avaient au moment de l'accident.

- Le bouton-poussoir de commutation de mode HDG-VS, TRK-FPA a été soumis à un examen qui a permis de démontrer la continuité électrique de l'interrupteur mais n'a pas permis de s'assurer du fonctionnement du système lors d'une pression sur ce bouton.

- Le composant EEPROM de la carte CPU a été détruit par l'accident.

En conclusion, il n'a pas été possible lors de ces expertises d'établir le mode d'affichage ni l'échelle sélectionnés par le PNF. Il n'est pas non plus possible de statuer sur le fonctionnement, juste avant l'accident, des composants de la chaîne d'acquisition et de traitement du mode de pilotage et de la valeur de consigne sélectés par le pilote.

117.232 Equipement CFDIU

L'équipement CFDIU (Centralized Fault Data Interface Unit) S/N 393 avait été récupéré sur le site de l'accident. Il a été soumis à examen chez l'équipementier en présence d'un représentant du BEA.

Les endommagements subis ont rendu impossible la lecture de ses mémoires non volatiles.

117.233 Equipements FMGC

117.233.1- Le F-GGED était équipé de deux calculateurs FMGC dont les numéros de série sont les suivants :

FMGC côté 1 : S/N 126

FMGC côté 2 : S/N 79

Ces équipements étaient au standard le plus récent (IS8: Intermediate Standard N° 8).

117.233.2 - Examen des calculateurs FMGC

Parmi les quelques éléments récupérés sur le site et identifiés comme parties de ces calculateurs, seul le composant EEPROM de la carte COM du FMGC2 a pu être lu.

L'exploitation de cette mémoire n'a pas apporté d'information supplémentaire par rapport à celles obtenues par l'exploitation du QAR et qui sont exposées ci-après.

117.233.3 - Exploitation de l'enregistrement QAR

Hormis dans les dernières secondes du vol où le support d'enregistrement est trop endommagé pour être exploité, le QAR indique qu'aucun des deux FMGC n'était déclaré en panne.

Les positions calculées par le FMGC1 étaient enregistrées sur le QAR. L'écart maximum relevé entre la trajectoire FMGC1 et la trajectoire dite de synthèse (voir § 117.8) est d'environ 0,15 NM. Pour donner un ordre de grandeur, lorsque le mode d'actualisation de la position FMS est "DME/DME", le calcul de position se fait avec une précision estimée meilleure que 0,28 NM.

117.233.4 - Examen de la DATABASE

Les caractéristiques (notamment coordonnées géographiques et portée) des stations sol de radio-navigation VOR et DME figurent dans la DATABASE qui est utilisée par le FMS pour sélectionner et exploiter ces moyens de navigation. Les caractéristiques des stations susceptibles d'avoir été utilisées au cours du vol ont été contrôlées.

De plus, il a été noté que les stations VOR et TACAN de Strasbourg sont déclarées dans la DATABASE "non co-implantées".

Le F-GGED possédait la programmation par broche (pin-programming) qui supprime automatiquement à la fin d'un vol les way-points éventuellement créés au cours de ce vol. Ceci écarte l'hypothèse que pouvait figurer en data base un way-point orthographié ANDLO, créé au moyen du MCDU au cours d'un vol précédent, et affecté de coordonnées voisines de celles du point publié.

117.233.5 - Examen des messages ACARS

Aucun message ACARS ne fait mention d'un dysfonctionnement d'un équipement de l'ATA 22.

117.233.6 - Examen des CRM du F-GGED

Les enquêteurs avaient initialement retenu pour examen complémentaire les CRM signalant des passages de mode Speed-VS en mode Idle / Open Descent.

Un tel dysfonctionnement n'est pas pertinent pour l'accident car les valeurs prises par certains des paramètres enregistrés montrent que l'appareil n'était pas en Idle Open Descent.

Concernant les radio-altimètres (ATA 34), des CRM signalaient des dysfonctionnements qui provoquaient l'envoi d'un message ACARS associé. Ce n'est pas le cas ici.

Concernant les calculateurs FMGC, un CRM signalait l'impossibilité de sélectionner depuis le panneau de gauche (EFIS control panel) l'affichage des indications VOR sur l'écran de navigation. Ce dysfonctionnement n'est pas pertinent pour l'accident car le QAR nous indique que le pilote en place gauche était en mode Rose VOR.

D'autres CRM signalaient des cas de "Time Out". Dans un tel cas, l'AP1 aurait été déconnecté et l'événement aurait été enregistré sur le QAR.

117.233.7 - Défaillances techniques envisagées:

En ce qui concerne la commande de la descente par le pilote, les possibilités de défaillances techniques envisagées sont les suivantes :

- mauvais fonctionnement du bouton poussoir de commutation de référence de trajectoire HDG-VS <--->TRK-FPA;

- mauvais fonctionnement du rotacteur de sélection de la valeur de la consigne VS ou FPA;

- panne d'un ou de plusieurs segments de la fenêtre d'affichage;

- activation intempestive du mode : par exemple, engagement du mode de descente par simple rotation du sélecteur sans action à tirer sur ce sélecteur.

En ce qui concerne la prise en compte de la commande de mise en descente et sa transmission au FMGC, les possibilités de défaillances techniques envisagées concernent tout type de corruption des informations traitées, telle que par exemple celle conduisant le pilote automatique à exécuter une commande différente de celle affichée par le pilote (voir le § 117.63).

117.24 - Equipements ATA 27.

Les documents ATA 27 liés au F-GGED et ceux liés aux A320 en général ont été examinés. Aucun des dysfonctionnements qui font l'objet de ces documents n'a été retenu comme pouvant expliquer l'accident.

Les circonstances de l'accident ont incité les enquêteurs à examiner plus particulièrement les systèmes qui interviennent dans le suivi de la trajectoire longitudinale: la chaîne de gouverne de profondeur, la chaîne de commande du plan horizontal réglable, les becs de bord d'attaque, les volets et les spoilers.

L'examen de l'épave, les expertises réalisées, les paramètres enregistrés sur le QAR, la transcription du CVR et l'enregistrement ACARS montrent que :

- les spoilers fonctionnaient correctement;
- la position des becs et des volets correspondait aux configurations sélectionnées et annoncées par l'équipage;

- le plan horizontal réglable et les gouvernes de profondeur étaient à tout instant dans des positions conformes aux ordres d'un pilote automatique qui pilote les paramètres de la trajectoire effectivement réalisée par l'avion, avec en particulier l'objectif de maintenir une vitesse verticale constante. L'hypothèse d'une corruption localisée dans un système de l'ATA 27, d'un paramètre de fonctionnement du pilote automatique, est en conséquence écartée.

- le calculateur ELAC2 qui gère la commande de profondeur n'a pas été détecté en panne. (En cas de panne de ce calculateur l'ELAC1 le remplace).

En conclusion, aucun dysfonctionnement d'un système ATA 27 n'a été mis en évidence.

117.3 - Expertise des équipements embarqués de radionavigation.

117.31- Méthode générale

L'équipage et le FMS ont utilisé les moyens de radio-navigation VOR et DME au cours du dernier virage et de l'approche finale. Les informations fournies par ces systèmes sont présentées à l'équipage sous forme de données brutes (raw data) et sont par ailleurs exploitées par le FMS pour calculer la position de l'avion. Les investigations relatives aux possibles défaillances de ces systèmes ont été menées suivant la même méthodologie que celle décrite au § 117.2 en ce qui concerne les systèmes de la chaîne de profondeur. Elles ont notamment consisté en l'analyse des dysfonctionnements identifiés jusqu'en décembre 1992.

Les systèmes ILS et ADF n'ont pas été examinés au cours de l'enquête.

117.32 - Equipements DME Collins-700

117.321 - Equipement du F-GGED

Le F-GGED était équipé de deux DME Collins-700-020:

DME côté 1: S/N 1613 installé le 12 juillet 1991,

DME côté 2: S/N 1683 installé le 9 août 1991.

Ce type de DME a été adapté spécialement pour intégration sur A320 et autres avions de nouvelle génération (ex: B747-400), pour pouvoir être intégré aux systèmes de maintenance par une interface avec le système CFDS.

Les informations de distance DME sont affichées sur les écrans Navigation Display et sur le DDRMI. Elles ne sont pas enregistrées.

117.322 - Modifications depuis la certification.

Depuis la date de certification de cet équipement, les modifications du matériel et les modifications de procédure d'emploi ont été les suivantes:

- Le 20 juin 1991, Collins diffuse à tous les exploitants d'appareils équipés de DME Collins-700 le Service Bulletin (SB) DME-700-34-20. Ce SB N°20 décrit la modification à appliquer pour prévenir un défaut de fonctionnement dénommé "SLEEPING MODE".

- Le 14 août 1991, l'Operators Information Telex (OIT) N°ST/999.0140/91 recommande l'application du SB N°20.

- L'Operations Engineering Bulletin (OEB) N°91/1, diffusé en août 1991, décrit une procédure de surveillance des informations DME, en attendant que le SB N°20 couvert par la modification N°22638 soit appliqué.

- La Temporary Revision (TR) N°113 de la Master Minimum Equipment List (MMEL), diffusée en août 1991, demande l'application de la procédure décrite dans l'OEB N°91/1, en cas de vol avec un FMGC seulement.

- Le 22 août 1991, est approuvée la modification N°22638, qui officialise pour les A320 le SB N°20.

- En septembre 1991, la TR N°112 de la MMEL demande que deux équipements DME soient opérationnels au départ du vol.

- En mars 1992, l'OEB N°91/2 traitant du sleeping mode et du deaf mode, remplace l'OEB 91/1.

- En septembre 1992, l'OEB N°91/3 traitant du sleeping mode, du deaf mode et du jump mode, remplace l'OEB N°91/2.

Le traitement des OEB a donné lieu à Air Inter à l'édition de notes d'information techniques (NIT) par le Secteur de Vol et les TR ont été relayées par des révisions temporaires correspondantes dans le manuel d'exploitation.

117.323 - Examen des DME S/N 1613 et 1683 qui équipaient le FGGED.

Les deux équipements ayant été récupérés sur le site, les mémoires non volatiles du BITE de ces DME ont été lues chez l'équipementier en présence d'un représentant du BEA. Aucune des pannes dont l'enregistrement est prévu n'avait été mémorisée au cours du vol de l'accident.

117.324 - Examen des documents liés au F-GGED.

Les CRM de l'avion ne comportaient pas d'information mettant en cause la qualité de fonctionnement de la chaîne de traitement DME du F-GGED lors du vol de l'accident.

117.325- Examen de la DATABASE et des NOTAM en vigueur le jour de l'accident.

Les enquêteurs ont contrôlé les caractéristiques (notamment coordonnées géographiques et portée) des stations DME et TACAN contenues dans la DATABASE et susceptibles d'avoir été exploitées au cours du vol Lyon - Strasbourg (en France, en Suisse, en Allemagne et en Belgique).

Par ailleurs les NOTAM relatifs aux moyens de radio-navigation ont été examinés de façon à identifier les stations sol éventuellement soumises à des opérations de maintenance.

Enfin, les autorités militaires ont précisé qu'aucun avion porteur d'une station TACAN embarquée n'était en vol dans l'heure qui a précédé l'accident.

Aucun des faits constatés dans le cadre de ces études n'était de nature à provoquer au cours de l'approche une erreur de calcul de distance DME.

117.326 - Evaluation des hypothèses des dysfonctionnements identifiés "sleeping mode, deaf mode et jumping mode".

Remarque : les informations (fréquence, distance, identification de la station sol) sont transmises sur cinq canaux pré-affectés. L'un de ces canaux est réservé à l'affichage (écrans EFIS et DDRMI). Les calculateurs FMGC n'effectuent aucun test de vraisemblance sur les distances DME qui cheminent par ce canal.

117.326.1 - Le phénomène "sleeping mode".

Le défaut "sleeping mode" est susceptible d'affecter tout équipement DME Collins-700 qui n'a pas subi l'application du SB Collins n° 20, et ce quel que soit le type d'avion.

Il se traduit par le fait que, toutes les 33,5 secondes, la valeur de distance DME est recyclée sur la valeur calculée au moment de l'apparition du défaut. De plus, il est impossible d'accorder le DME sur la fréquence d'une autre station sol.

Lorsqu'il détecte des sauts de distance supérieurs à 0,35 NM le FMGC associé au DME défectueux passe automatiquement en mode de navigation inertielle pure.

De plus, si les positions calculées par les deux FMGC diffèrent de plus de 5 NM, l'équipage en est informé par le message "FMS1 / FMS2 POS DIFF" affiché aux MCDU.

L'OEB N°91/1 (repris et complété en mars 1992 dans l'OEB 91/2) décrit la procédure opérationnelle applicable par les équipages. Cette procédure préconise d'accorder les deux DME sur la même fréquence et d'effectuer régulièrement un contrôle croisé des informations de distance affichées sur les écrans de navigation et sur le DDRMI.

Lorsque le phénomène est détecté, une réinitialisation (reset) doit être tentée par action sur le disjoncteur du DME incriminé.

Collins a défini le SB N°20 (couvert sur A320 par la modification N° 22638 pour corriger le sleeping mode.

Le SB N°20 n'avait pas encore été appliqué aux DME Collins-700 qui équipaient le F-GGED.

Note: (les chiffres cités ci-dessous ont été communiqués par l'équipementier à la commission en milieu d'année 1992)

Collins estime qu'une vingtaine de défauts signalés peuvent être des cas de "sleeping mode", mais que seulement six d'entre eux ont pu être confirmés. L'évaluation par Collins du nombre d'heures de vol effectuées par toute la flotte d'appareils équipés en Collins-700 lui permet d'estimer à 10^{-5} par heure de vol la probabilité d'occurrence du défaut (c'est-à-dire un cas pour cent mille heures de vol). Ce résultat statistique donne un ordre de grandeur dont la précision est difficile à évaluer dans la mesure où l'on n'a aucune certitude que tous les cas de "sleeping mode" ont été effectivement constatés puis notifiés par les équipages.

Il n'est pas prévu que ce dysfonctionnement soit enregistré sur les enregistreurs de paramètres (DFDR, QAR). Par ailleurs, la transcription du CVR ne comporte aucune remarque des pilotes relative aux distances DME. Enfin, le logiciel BITE des équipements DME Collins-700 ne permettait pas de détecter ou d'enregistrer ces dysfonctionnements.

Le BITE est un logiciel destiné à assurer l'auto-surveillance de l'équipement et à faciliter les opérations de maintenance de ce même équipement. Il est donc programmé en particulier pour détecter certaines anomalies de fonctionnement du programme opérationnel. La mémoire destinée à sauvegarder des éléments d'informations relatives aux anomalies détectées est une mémoire non volatile organisée en tableaux dans lesquels sont rangées ces informations. L'adresse physique de sauvegarde est calculée par le logiciel BITE. Dans le cas du phénomène "sleeping mode", les procédures du logiciel BITE ne détectent pas qu'une adresse de stockage prend une valeur excessive. Une information ayant trait au BITE est alors enregistrée dans la mémoire réservée au programme opérationnel, ce qui provoque son dysfonctionnement.

Après examen du contenu des mémoires non volatiles des équipements DME, Collins a cependant déterminé qu'il n'y avait pas eu de sleeping mode au cours de l'approche. L'argumentation repose sur la non occurrence simultanée de trois critères de caractérisation du phénomène. L'hypothèse d'un dysfonctionnement du type "sleeping mode" peut donc être réfutée par une démonstration technique.

La validité de cette démonstration a été confirmée par une expertise indépendante conduite au CEAT (Centre d'Essais Aéronautiques de Toulouse) à la demande de la commission. Le CEAT a constaté des incohérences et des désordres dans les données enregistrées dans la mémoire non volatile par le logiciel BITE. Toujours selon le CEAT, ce logiciel présentait des défauts de conception, qui entraînent des débordements de tableaux. Les procédures de vérification et de test du logiciel BITE du DME Collins 700 n'ont pas permis de détecter ces incohérences avant la mise en service de cet équipement.

117.326.2 - Le phénomène "deaf mode"

Ce défaut est susceptible d'affecter tout équipement DME Collins-700 qui n'a pas subi l'incorporation du SB Collins N° 24, quel que soit le type d'avion.

Bien que l'identification de ce défaut soit postérieure à la date de l'accident, les enquêteurs l'ont envisagé comme étant une hypothèse de défaillance pertinente avec les circonstances de l'accident.

Il se traduit par le fait qu'à la mise sous tension de l'équipement, cinq zones de la mémoire ne sont pas initialisées. Or leur contenu est utilisé pour gérer l'ordonnancement des six tâches (Input, Output, Receiver Manager, Monitor, Distance, Background) exécutées sur chacun des cinq canaux du DME.

Lorsque le défaut apparaît, il empêche l'exécution de l'une (ou de plusieurs) des six tâches sur l'un (ou plusieurs) des cinq canaux. Ce n'est pas une panne fugitive.

L'équipementier précise que le deaf mode ne peut apparaître qu'à la mise sous tension de l'équipement après une coupure d'alimentation du DME d'au moins une heure.

Il se peut que le défaut ne soit détectable qu'en vol, par exemple si le FMGC, ou l'équipage, tente de changer de fréquence alors que la tâche concernée (Input) n'est pas exécutable sur le canal concerné.

L'OEB daté de mars 1992 décrit le deaf mode et préconise une procédure opérationnelle pour détecter le défaut. Le cas échéant, l'équipage tentera une réinitialisation (reset) par action sur le disjoncteur du DME incriminé.

Collins a défini le SB N° 24 (couvert sur A320 par la modification N° 23196 pour corriger le deaf mode.

Les enquêteurs n'ont eu connaissance que de deux cas: le premier a été constaté en laboratoire, et le second a été rencontré en vol le 15 février 1992.

L'occurrence de ce défaut n'est pas détectable sur les enregistrements QAR ou BITE.

Par contre, le défaut n'a pas normalement pu apparaître lors de l'escale à Lyon, où, du fait de sa courte durée, les équipements (DME en particulier) du F-GGED n'ont selon toute vraisemblance pas été mis hors tension.

117.326.3 - Le phénomène "jumping mode"

Ce défaut a été identifié postérieurement à l'accident. Il est propre aux DME Collins-700, quel que soit le type d'avion.

D'après les études faites par Collins, le défaut ne devrait apparaître qu'à des vitesses DME* faibles, inférieures à 35 kt environ. La probabilité maximale d'occurrence est obtenue lorsque la vitesse DME est nulle.

(Note* : la vitesse DME est la vitesse radiale de l'avion par rapport à la station sol DME. Si l'avion est à distance constante de la station (par exemple lors de l'exécution d'une procédure "Arc DME"), sa vitesse DME est égale à zéro.)

Le "jumping mode" peut affecter n'importe lequel des canaux du DME:

Dans le cas d'un canal utilisé pour l'affichage, le défaut se traduit par un saut de distance compris entre -4,25 et -5,45 NM (la distance affichée est donc inférieure à la distance réelle) pendant 14 secondes, temps au bout duquel le logiciel du DME aura détecté l'anomalie et recalculé la distance réelle.

Dans le cas d'un canal utilisé pour le calcul de position FMS, le défaut peut se traduire par une dérive de la position calculée. Au-dessus du FL 200 cette dérive est filtrée et n'influe donc pas sur la position FMS. En-dessous du FL 200 la constante de temps du filtrage est plus faible ce qui peut conduire à une dérive de la position FMS. Dans le cas le plus défavorable, cette dérive n'excède pas 2NM.

L'OEB 91/3 de septembre 1992 décrit une procédure opérationnelle basée sur le contrôle croisé des informations DME.

Le SB N°25 expose la modification définie par Collins pour corriger le deaf mode.

Ce dysfonctionnement n'est pas enregistré sur les enregistreurs de paramètres (DFDR, QAR).

La transcription du CVR ne comporte aucune remarque des pilotes relative aux distances DME.

L'enregistrement QAR fournit les paramètres de cap et de vitesse sol ainsi que les positions de l'avion calculées par le FMGC1. Cette trajectographie a été validée par comparaison avec une trajectographie de référence (voir § 117.8).

On observe que:

- en sortie de virage à 5000 ft, les valeurs de vitesse et de cap sont telles que la vitesse DME est supérieure à 160 kt.

- à partir du temps QAR 2980, et jusqu'à l'instant de mise en descente (désengagement du mode ALT HOLD au temps QAR 3005), l'appareil est en rapprochement de la station sol DME à un cap sensiblement égal au QDM (environ 060°). L'avion étant alors pratiquement vent de face, la route suivie était sensiblement égale au QDM. Dans ces conditions, la vitesse DME est voisine de la vitesse sol, soit 170 kt.

- il en est de même pendant la descente où les paramètres de cap et de vitesse sol sont presque constants.

Donc plus de trente secondes avant la mise en descente et pendant la descente, la vitesse DME était très supérieure aux vitesses auxquelles le "jumping mode" peut apparaître.

L'hypothèse du "jumping mode" est donc réfutée.

117.326.4- Autre dysfonctionnement

Un défaut signalé à une date postérieure à celle de l'accident n'a pas pu être classé avec certitude dans l'une des trois rubriques décrites ci-dessus. Il se traduisait par des distances DME erronées affectant alternativement les deux ensembles de façon fugitive. Le défaut a été détecté à la fois par l'équipage et par le FMGC, à la suite de quoi ce calculateur a rejeté le DME en question. Le BITE ne comportait aucune mention de panne sur ce vol. Aucune explication technique de cette anomalie n'était disponible à la date de clôture de cette enquête.

117.33 - Equipements VOR Collins-700

117.331 - Equipement

Le F-GGED était équipé de deux récepteurs VOR Collins-700-020:

VOR côté 1 : S/N 842 installé le 20 juin 1989,

VOR côté 2 : S/N 894 installé le 12 juillet 1991.

Ce type de récepteur a été adapté pour intégration de l'interface avec le système de maintenance de l'A320 (CFDS).

Selon les sélections d'affichage opérées par l'équipage, les informations élaborées par les récepteurs VOR sont susceptibles d'être présentées sur les écrans de navigation et sur le DDRMI. Ces informations VOR ne sont pas enregistrées.

La conduite de l'approche, notamment l'alignement sur l'axe d'approche, supposait que l'équipage exploite les indications de relèvement par rapport à la station VOR de Strasbourg ainsi que les écarts par rapport au radial 231° de cette même station. En conséquence, les bases de données et la chaîne d'élaboration des indications VOR à bord ont fait l'objet d'examens particuliers.

117.332 - Modifications depuis certification

Depuis la date de sa certification, les modifications du matériel et les modifications de procédure d'emploi ont été les suivantes:

- Introduction d'un filtrage de l'information de relèvement VOR affichée sur les écrans de navigation. La constante de temps du filtre est de 0,8 seconde.

- TR N°124 du FCOM (juillet 1991) concernant les VOR Collins-700. Cette révision demande que les approches VOR soient effectuées en mode Navigation et qu'une remise de gaz soit engagée si les oscillations VOR sont supérieures à 1/2 point (rappel: un déplacement de 1 point de la barre d'écart signifie une variation de 5° du relèvement).

- TR N°143 du FCOM (janvier 1992). Cette révision étend l'application de la procédure opérationnelle décrite dans la TR N°124 à tous les types de récepteurs VOR.

- TR N°151 du FCOM (février 1992). Cette révision annule et remplace la TR N°143. Elle décrit la procédure opérationnelle en cas de battements et/ou de relèvements erronés.

- TR N°156 du FCOM (avril 1992). Cette révision annule la TR N°151 dans le cas des avions ayant subi la modification du capotage et de mise à la masse de l'antenne VOR (SB N°34-1044, modification N° 22956).

117.333 - Examen des NOTAM en vigueur le jour de l'accident

L'examen des NOTAM n'a pas mis en évidence d'anomalie susceptible d'affecter la précision des informations VOR au cours de l'approche.

Rappel : dans la database les stations VOR et TACAN de Strasbourg étaient déclarées non co-implantées. En conséquence le FMS n'exploitait pas le VOR STR.

117.334 - Examen des messages ACARS

Au cours du vol, respectivement vingt-cinq et trois minutes avant l'accident, le système ACARS a transmis le message "VOR1 - No data from control source" et le message "VOR2 - No data from control source". La signification de ces messages est sans rapport avec une éventuelle indication VOR erronée.

117.335 - Examen du QAR: fréquences sélectionnées

Les deux récepteurs VOR étaient accordés sur la fréquence de la station STR.

Le fait que la fréquence VOR soit enregistrée sur le QAR montre que le logiciel de surveillance de l'équipement n'avait pas détecté de défaut de fonctionnement.

117.336 - Examen du VOR S/N 894 qui équipait le F-GGED

Seul le récepteur VOR S/N 894 a été récupéré sur le site de l'accident.

Les mémoires non volatiles de son BITE ont été lues chez l'équipementier en présence d'un représentant du BEA.

Parmi les informations disponibles, on constate que le seul message enregistré au cours des derniers vols est "No data from control source". L'origine de ce message fait l'objet du Service Bulletin N°10. Il n'indique pas une éventuelle indication VOR erronée.

Le logiciel BITE des équipements VOR Collins-700 ne permettait ni de détecter ni d'enregistrer les dysfonctionnements étudiés au paragraphe suivant.

117.337 - Analyse des dysfonctionnements identifiés "erreurs de relèvement VOR" et "battements d'indications VOR"

Deux types de dysfonctionnement aléatoire caractérisés par des indications VOR erronées et/ou fluctuantes ont été signalés régulièrement depuis la mise en service de l'avion (mi-1988).

Le premier est connu sous la dénomination "Erreurs de relèvement", et le second "Battements d'indications"

117.337.1- Phénomène "Erreurs de relèvement VOR"

Ce phénomène se caractérise par une indication de relèvement VOR fortement erronée. Il n'a été rapporté que sur des A320 équipés de récepteurs VOR fabriqués par un autre équipementier que Collins.

Ce phénomène est essentiellement dû à l'atténuation du signal radioélectrique par une trop forte métallisation du carénage de l'antenne VOR. Le filtrage des signaux d'antenne en entrée du récepteur VOR Collins est différent de celui appliqué en entrée des VOR fabriqués par l'autre équipementier.

Il est donc extrêmement peu probable que ce phénomène ait été présent sur le F-GGED pendant l'approche à Strasbourg.

117.337.2 - Phénomène "Battements d'indications VOR"

Lorsque ce dysfonctionnement apparaît, l'indicateur de relèvement, comme la barre d'écart angulaire, sont soumis à des battements dont l'amplitude et la fréquence sont variables selon les cas rapportés.

Cette anomalie affecte entre autres les équipements VOR Collins-700-020. Le constructeur en a attribué la cause essentiellement à l'atténuation du signal radioélectrique par une trop forte métallisation du carénage de l'antenne VOR.

Comme pour le phénomène d'erreurs de relèvements, une modification ayant principalement trait à la métallisation de protection contre la foudre du carénage de l'antenne VOR a été appliquée sur toute la flotte A320 pour corriger ce défaut. Cette modification n'était pas appliquée sur le F-GGED.

Ce défaut n'est pas détectable à posteriori sur les enregistrements QAR ou BITE.

Il n'est donc pas possible d'écarter l'hypothèse de tels battements d'indications VOR lors de l'approche à Strasbourg.

117.34 - Evaluation des informations présentées à l'équipage sur les écrans de navigation

117.341 - Fonctionnement des systèmes

La transcription du CVR ne comporte aucune mention d'anomalie.

L'enregistrement QAR indique qu'aucun des deux FMGC n'était déclaré en panne.

Les enregistrements QAR, ACARS et CVR montrent que les éléments composants les visualisations électroniques de pilotage et de navigation (EFIS) étaient dans leur configuration nominale, sans détection de panne surveillée.

117.342 - Evaluation de la qualité de la trajectoire FMGC1

L'écart maximum relevé entre la trajectoire FMGC1 et la trajectoire de référence (voir § 117.8) est d'environ 0,15 NM. (Pour donner un ordre de grandeur, lorsque le mode d'actualisation de la position FMS est "DME/DME", le calcul de position FMGC se fait avec une précision estimée meilleure que 0,28 NM).

Une simulation du vol (dernier virage et mise en descente) a montré une bonne corrélation de la trajectoire FMGC1 avec la trajectoire obtenue par pilotage en mode sélecté (voir § 117.5).

Note : Si l'avion ne peut pas recevoir correctement deux DME, le FMGC passe en mode de navigation inertielle pure, en conservant l'écart "position inertielle - position radio" précédemment calculé. De cette façon la transition de "Inertie-Radio" à "Inertie pure" ne s'accompagne pas d'un saut de position.

117.343 Examen des anomalies identifiées concernant les cartes de navigation présentées sur les écrans ND

L'hypothèse d'anomalie(s) de carte de navigation présentée sur le ND a été envisagée. Les différents cas envisagés sont exposés ci-après.

117.343.1 - Décalage de carte avec position FMGC juste

Deux phénomènes distincts sont connus:

a. Le saut de carte (ou "map shifting")

Dans ce cas la position calculée par le FM est juste (la navigation managée est correcte) mais une partie de la trajectoire présentée au ND saute brusquement. Ce phénomène n'est rencontré que lors de l'exécution de certaines approches identifiées. Il résulte d'une combinaison particulière de segments et points définissant la trajectoire FMS.

De telles combinaisons n'existent pas pour l'approche 05 VORTAC de Strasbourg. De plus elles ne peuvent pas être créées manuellement. L'hypothèse d'un saut de carte avec position FMGC juste est donc exclue.

b. Anomalie de présentation en échelle 10 NM

Ce phénomène constaté à une date postérieure à celle de l'accident fait l'objet du TFU N° 22720019 ouvert en avril 1992. Seuls quelques cas ont été notifiés depuis la mise en service de l'A320. L'anomalie se traduit par un positionnement incorrect de la symbologie : la figuration de la trajectoire est erronée.

L'hypothèse d'une anomalie de présentation en échelle 10 NM (côté copilote seulement) ne peut pas être écartée par un raisonnement technique seul.

117.343.2- Décalage de carte avec position FMGC fausse

Note 1 : L'enregistrement QAR ne comporte pas les positions calculées par le FMGC2. On examine cette anomalie de carte pour le cas où le copilote aurait sélectionné l'affichage d'un mode carte, la trajectoire présentée étant alors celle élaborée par le FMGC2.

Note 2 : Du fait de l'absence d'enregistrement, il n'est pas possible de comparer les positions calculées par le FMGC2 à la trajectoire de référence. On ne peut donc rien dire de la qualité de la trajectoire FMGC2 mais on remarque que la transcription du CVR ne comporte aucune mention relative à un éventuel constat d'affichage du message signifiant une différence de plus de 5 NM entre les positions calculées par les FMGC.

Le phénomène de "décalage de carte avec une position FMGC fausse" a été signalé en approche VORTAC 29 à Bordeaux. Il était probablement dû au fait que le FMGC exploitait des informations provenant du VOR co-implanté avec le TACAN, dégradées à la réception par une trop forte métallisation du capotage de l'antenne VOR.

Mais les conditions d'exploitation des stations sol par les FMGC n'étaient pas les mêmes à Strasbourg. En effet le VOR et le TACAN STR étaient déclarés non co-implantés dans la DATABASE. De ce fait, bien que les deux récepteurs VOR aient été accordés sur STR, les FMGC n'ont jamais exploité les informations de ce VOR. Même en phase finale ils ne sont jamais passés en mode d'actualisation "VOR/DME".

L'hypothèse d'un décalage de carte lié à une position FMGC1 fausse est donc exclue.

117.343.3 - Symbologie ND figée

En novembre 1992, le seul cas signalé datait du 26 mars 1992. D'après le compte-rendu de l'équipage, toutes les informations du ND étaient figées et il n'a pas été possible de récupérer les indications normales en utilisant les sélecteurs de mode et d'échelle et les inverseurs VOR/ADF du FCU.

117.4 - Essais et recherches concernant les installations au sol de radionavigation

117.41 - Introduction

En ce qui concerne l'état de fonctionnement des installations sol de radionavigation, les enquêteurs ont examiné les comptes-rendus de contrôle de ces stations ainsi que les résultats des mesures effectuées les 23, 24 et 28 janvier 1992.

En effet, à la suite de l'accident, le BEA avait chargé le STNA de vérifier en vol la qualité des aides

radioélectriques que le F-GGED avait pu utiliser au cours de son approche à destination de Strasbourg-Enztheim. Ce contrôle en vol avait les objectifs suivants:

- vérification du fonctionnement du VOR de Strasbourg;

- recensement des stations DME ou TACAN reçues au cours de la procédure;

- vérification de la qualité des informations de distance reçues;

- détection de brouilleurs éventuels.

A cet effet, un banc de mesure installé à bord de l'avion et des installations spécifiques au sol pour fournir la référence trajectographique ont été mis en oeuvre.

Il convient de noter que l'ensemble de l'infrastructure VOR fait périodiquement l'objet de contrôles en vol.

En ce qui concerne les stations DME, le STNA précise que le test d'intégrité permanent de ces stations s'effectue sur toute la chaîne de traitement, depuis la réception de l'interrogation avion jusqu'à l'émission de la réponse station sol. Ce dispositif rend inutile le contrôle en vol de la fiabilité du test. Seules des informations de réception DME sont fournies sur demande aux techniciens au sol par un avion en vol, avant la mise en service des stations, pour corriger le phénomène des zones aveugles.

Un majorant des erreurs dues à la station TACAN et aux multitrajets est évalué à 450 m (O,25 NM).

117.42 - Analyse des résultats des contrôles en vol et au sol

117.421 - Station VOR de Strasbourg (STR)

117.421.1 - Un contrôle en vol du 24 juillet 1991

L'erreur moyenne relevée sur l'axe d'approche était de 0,5°. Le taux de modulation était dans les tolérances.

Note : en France il est recommandé que l'erreur d'alignement d'un axe radial support de procédure d'approche soit inférieure à +/- 1,5°.

Une inspection "haute altitude" avait été effectuée en novembre 1991 : l'erreur moyenne relevée était de 0,4°.

117.421.2 - Contrôle réalisé le 23 janvier pour les besoins de l'enquête

Il a été noté qu'il n'y a pas eu d'intervention dans le mois qui a précédé l'accident.

Une première série de mesures a été réalisée en parcourant une orbite autour du VOR à une distance d'environ 4 NM et à 1300 pieds, c'est-à-dire sous un site de 3°. L'erreur moyenne relevée est de l'ordre de 0,1°. La différence constatée avec la valeur obtenue lors du contrôle "haute altitude" s'explique par le fait que les mesures n'ont pas été effectuées à la même distance de la station, ni au même moment. Elles sont toutes à l'intérieur des tolérances.

Note : l'OACI ne spécifie pas de tolérances applicables à l'erreur moyenne mesurée à une distance donnée sur 360° autour de la station. En France le réglage des stations est fait de manière à conserver une erreur moyenne inférieure à +/- 1°.

Le taux de modulation "30 Hz Var" moyen mesuré était à l'intérieur des tolérances OACI.

Quant au taux de modulation "9960 Hz Ref", il a été trouvé hors tolérances OACI. Une simulation de ce phénomène a montré que l'erreur induite sur l'indication était de l'ordre de 0,1°.

D'autres séries de mesures ont été effectuées sur les radials 251, 241, 237 et 231° à 5000 pieds d'altitude, depuis 20 NM jusqu'au VOR. On constate qu'il n'y a pas de perte d'information VOR et que les caractéristiques des radials (erreur moyenne et taux de modulation) sont à l'intérieur des tolérances.

L'erreur moyenne relevée sur le radial d'approche 231° est de +0,9°.

Note : compte tenu de la convention de signe adoptée, ceci signifie qu'en sélectant le QDM 051°, le maintien d'un écart angulaire nul se traduit par une trace sol de l'avion située approximativement sur le QDM 052° de la station, à gauche de l'axe d'approche finale publiée.

Enfin des mesures ont été effectuées sur le radial 311° qui correspond à l'axe VOR STR - VOR GTQ. Les caractéristiques des radials de ces deux VOR sont à l'intérieur des tolérances.

En conclusion, le contrôle de la station VOR STR a mis en évidence que les erreurs d'alignement sur les axes de la procédure d'approche 05 et sur les radiales inspectées sont conformes aux normes OACI, malgré un taux de modulation "9960 Hz Réf" hors tolérances.

Des irrégularités sont constatées entre 9 et 8 NM de la station. On les retrouve lors de l'exécution de l'approche. Elles sont attribuables à des multitrajets (composition du signal direct et de signaux réfléchis par un obstacle tel que le relief environnant).

Du point de vue des normes OACI où les irrégularités mesurées sur les radials VOR doivent être inférieures à +/- 3°, il convient de rappeler que cette valeur est donnée pour 95 % des cas. Les points relevés sur l'enregistrement et atteignant +/- 4° correspondent à des durées très faibles et ne suffisent donc pas pour déclarer ce radial "hors normes".

Cependant de telles irrégularités peuvent entraîner une instabilité de l'indication VOR. La perturbation a un caractère sinusoïdal basse fréquence, d'amplitude maximale comprise entre 3 et 4°.

Un calculateur de simulation du récepteur Collins-700 a permis d'évaluer la réponse de ce récepteur à un signal tel que celui enregistré le 23 janvier. La courbe de réponse obtenue montre que les oscillations du signal d'entrée sont reproduites en sortie du récepteur, légèrement atténuées et déphasées comme il est prévisible compte tenu du filtrage.

Par ailleurs, la trajectoire du FGGED était plus basse que celle de l'avion du contrôle en vol, et dans les toutes dernières secondes du vol, le FGGED, masqué par le mont La Bloss, se trouvait sous l'horizon radio de la station VOR STR. Cette occultation est de nature à provoquer une altération supplémentaire de l'indication VOR.

Enfin, il convient de noter que le signal ne se réfléchit pas de la même façon selon que la surface de réflexion est enneigée ou non. Bien que les vols de contrôle aient été effectués dans des conditions d'enneigement semblables à celles rencontrées au moment de l'accident, il n'est pas possible d'affirmer que le signal VOR reçu par le F-GGED était identique à celui enregistré lors de ces contrôles en vol.

En résumé, bien que l'on ne soit pas en mesure d'affirmer que les conditions de réflexion du signal VOR aient été le jour du contrôle en vol identiques à celles rencontrées par le F-GGED sur sa trajectoire, il est très probable que les irrégularités du signal se soient traduites par des mouvements de l'aiguille et de la barre d'écart VOR d'amplitude comparable.

117.422 - Station TACAN de Strasbourg (STR)

Parallèlement au contrôle des radials VOR s'effectuait à bord de l'avion un contrôle de la validité des informations de distance.

De plus l'avion a exécuté un circuit en hippodrome complet à partir du VOR STR à 5000 pieds d'altitude, puis un nouveau circuit avec alignement sur le QDM 057° du VOR après le virage de procédure et descente depuis 5000 pieds pour survoler le site de l'accident à basse hauteur. Aucune perte d'information TACAN n'a été constatée et les distances fournies étaient valides.

En conclusion, la réception de l'information distance du TACAN STR a été satisfaisante dans le volume d'espace exploré.

Mesures sur le DME de Grostenquin (GTQ) : aucune perturbation due au DME de GTQ ou à un autre DME n'a été constatée au cours de l'approche 05. En outre, aucune information n'a été reçue sur la fréquence de GTQ lorsque, pour cet essai, la station a été coupée par le service technique.

Dans le cadre des contrôles au sol programmés de la station TACAN, celui effectué le 28 février 1992 a montré un fonctionnement nominal de la partie "mesure de distance" du TACAN. Deux avions militaires ont validé les informations de la balise.

117.423 - Informations reçues au cours de l'exécution de l'approche

Au cours de la procédure d'approche, le système de contrôle en vol utilisé a permis la réception d'informations valides de 12 stations* DME ou TACAN différentes, et parmi elles de 11 à 3 simultanément (3 à une altitude de 500 pieds sur l'axe d'approche).

Ces informations étaient de bonne qualité et aucun brouilleur n'a été détecté. Aucun rayonnement d'une station inconnue n'a été trouvé.

(*) : Liste alphabétique des stations DME ou TACAN reçues au cours du vol du 28 janvier :

BGT (TACAN Bremgarten, Allemagne), BLM (VOR/DME Bale), CLR (TACAN Colmar), GTQ (VOR/DME Grostenquin), HOC (VOR/DME Hochwald, Suisse), LHR (TACAN Lahr, Allemagne), MCY (DME Etain, Meuse), NAY (TACAN Nancy-Ochey), PB (DME Phalsbourg, Moselle), SAA (TVOR/DME Saarbrucken, Allemagne), SLN (TACAN Sollingen, Allemagne), STR (VOR/TACAN Strasbourg).

117.5 - Recherche du mode de pilotage automatique vertical en approche finale.

117.51 - Introduction

En mode "sélecté", le pilotage automatique latéral et vertical de l'avion comporte deux références de trajectoire possibles, qui associent les modes latéraux et verticaux correspondants: la référence "HEADING/VERTICAL SPEED" (HDG-VS) et la référence "TRACK/FLIGHT PATH ANGLE" (TRK/FPA). La connaissance de la référence effectivement utilisée par l'équipage du F-GGED lors du dernier virage et de la descente finale est un élément important de compréhension de l'accident. Or cette information n'est pas enregistrée sur le QAR (ni sur le DFDR). D'autre part aucun élément de l'enregistrement CVR ne permet de connaître cette référence.

On a donc tenté, par le raisonnement, d'établir quel était la référence utilisée en utilisant les données disponibles sur le QAR.

117.52 - Présentation de la simulation

On a procédé à une simulation numérique de la partie du vol comprise entre le temps QAR 2900 (l'avion est en fin d'éloignement au cap 231) et le temps 3035 (l'avion se stabilise en descente à 3300 ft/mn). Cette simulation consiste à calculer, à partir du modèle numérique du vol de l'avion, les valeurs des paramètres représentatifs de la trajectoire obtenue sous différentes hypothèses : référence HDG-VS ou TRK-FPA, hypothèses sur la sélection des valeurs de consigne par l'équipage. On a comparé ces paramètres avec ceux enregistrés sur le QAR du F-GGED, et on a déterminé l'hypothèse qui conduit à la meilleure corrélation entre valeurs calculées et valeurs enregistrées.

Note : cette simulation a été arrêtée au temps 3035, instant de sortie des aérofreins, car l'effet de la sortie progressive des aérofreins est difficilement modélisable avec la précision suffisante dans la simulation utilisée, où les paramètres (vitesse verticale ou angle de descente) évoluent.

117.53 - Examen de l'hypothèse d'un changement de référence de trajectoire entre le début du dernier virage et l'instant de l'accident

L'analyse du fonctionnement du pilote automatique montre que tout changement de mode entraîne, par conception, l'identification de la consigne (de cap et, si le mode est activé, de vitesse verticale, en référence HDG-VS; de route et, si le mode est activé, d'angle de descente, en référence TRK/FPA;) à la valeur instantanée du paramètre considéré au moment du changement de mode.

Si la trajectoire n'est pas rectiligne stabilisée, ceci se traduira par un à-coup sur le braquage des ailerons et l'assiette latérale, ou sur la gouverne de profondeur.

A titre d'exemple, prenons le cas d'un virage de 90° par la droite en mode TRK à partir d'une route vers le

nord. La consigne "TRK 90°" a été sélectionnée et l'avion est en virage à droite. Si en cours de virage le pilote passe en mode HDG, la consigne du pilote automatique devient instantanément la valeur du cap au moment du changement de mode, par exemple "HDG 52°". Mais puisque l'avion est en évolution, ce cap tend à être dépassé par inertie, et le pilote automatique devra déclencher une correction, qui se traduit par un à-coup de braquage des ailerons dans le sens inverse du virage, pour venir rechercher le cap cible acquis au moment de l'engagement du mode. Un raisonnement analogue vaut pour le plan vertical, lors de la phase dynamique d'une mise en descente.

Dans le cas du F-GGED, on ne trouve pas d'à-coup de ce type sur les enregistrements du QAR, ni sur l'assiette latérale pendant la durée du virage, ni sur la gouverne de profondeur pendant la mise en descente.

L'analyse des enregistrements QAR permet donc de dire qu'aucun changement de référence de trajectoire n'a pu se produire à partir de la mise en dernier virage.

117.54 - Détermination du mode de pilotage vertical

Une fois démontrée cette permanence de la référence, il reste à déterminer lequel des deux couples, HDG/VS ou TRK/FPA, a été le plus probablement utilisé par l'équipage dans cette phase de vol.

L'analyse repose sur deux arguments.

Le premier concerne le degré de conformité, suivant la référence retenue, des valeurs calculées et des valeurs enregistrées pour les paramètres représentatifs : cap ou route, vitesse verticale.

Le second concerne les instants de sortie de manoeuvre définis par le pilote automatique à l'approche des valeurs de consigne.

117.541 - Comparaison valeurs calculées / valeurs enregistrées pour les paramètres de trajectoire

Le premier paramètre qu'il est nécessaire de déterminer est le vent (intensité et direction). Pour cela on a calculé la différence vectorielle entre la vitesse vraie (VTAS) et la vitesse sol (VSOL) établie à partir des informations IRS qui sont disponibles sur le QAR.

La VTAS n'est pas enregistrée sur le QAR. Elle se détermine en appliquant à la vitesse air VCAS, qui est enregistrée, une correction de densité. Le jour de l'accident, la température à 5000 ft était inférieure de 10° à la température standard.

En traçant sur un même diagramme les modules de la vitesse vraie ainsi calculée et de la vitesse sol lue sur le QAR, on relève le point où ces deux courbes se coupent: la vitesse sol et la vitesse vraie sont égales en module à l'instant QAR 2937. Le cap avion est alors à 161° et la route est à 166°. On en déduit en construisant le triangle des vitesses que le vent vient du 074° et que son intensité est de 20 Kts.

Cette valeur est confirmée à l'instant QAR 2900: cap 230, VCAS=231 kts, VTAS=242 Kts; en prenant le vent déterminé plus haut on obtient VSOL=260 Kts, ce qui est conforme à la donnée QAR.

Note : Le calcul précédent ne tient pas compte de l'erreur sur la vitesse sol. Cette erreur est due à la dérive de la centrale inertielle (IRS 1) . C'est un vecteur de direction et de module constant sur l'échelle de temps considérée (quelques minutes). On évalue dans la suite l'effet d'une telle erreur en la décomposant en un vecteur parallèle à l'axe d'approche et un vecteur normal à cet axe.

La simulation est lancée avec les conditions initiales suivantes : cap 231, altitude pression 4750 ft, vitesse air VCAS 230 Kts. Elle est effectuée d'une part en référence TRK-FPA, d'autre part en référence HDG-VS. Elle prend en compte les événements suivants, en respectant les intervalles de temps relevés sur le QAR :

- changement de consigne de cap ou de route sélecté(e) (probablement pour la valeur 090°) (temps QAR 2902);

- décélération de 230 Kts vers 180 Kts (temps QAR 2912);
- passage en configuration 1 (becs 18° / volets 0°) (temps QAR 2927);
- nouveaux changements de consigne de cap ou route sélectés pour rejoindre l'axe de piste (temps QAR 2945, 2986);
- passage en configuration 2 (becs 22°/volets 15°) (temps QAR 3000);
- mise en descente en mode V/S ou FPA (temps QAR 3006);
- sortie du train (temps QAR 3010);

Pour ce qui concerne le mode latéral, on constate que les tracés sur le cap, la route, l'assiette latérale et les braquages ailerons, obtenus par simulation en mode HDG sont sensiblement plus proches des tracés tirés du QAR que ceux obtenus par simulation en mode TRK, notamment lorsque l'inclinaison latérale désature de la valeur limite de 25° en sortie de virage.

Pour ce qui est du mode vertical, on constate également que les tracés obtenus en mode VS sur la vitesse verticale, l'assiette longitudinale et le braquage de la gouverne de profondeur sont plus proches des tracés tirés du QAR que ceux obtenus par simulation en mode FPA. En particulier, en mode FPA, il faut sélecter la valeur maximale d'angle de descente affichable (9°9) pour se rapprocher de l'enregistrement avion, mais la vitesse verticale maximum atteinte (de l'ordre de -3050 ft/mn) reste éloignée de la valeur enregistrée d'un écart (200 ft/mn) nettement supérieur à la précision nominale de tenue du paramètre par le pilote automatique (+/- 50 ft/mn).

117.542 - Détermination de l'instant de désaturation du mode PA vertical

En analysant la structure des lois de pilotage en mode VS, on note que la variation d'assiette longitudinale commandée par le pilote automatique est d'abord proportionnelle à l'écart entre la vitesse verticale de l'avion et la valeur sélectée par le pilote (consigne), puis constante lorsque cet écart dépasse une certaine limite. On dit alors que la boucle de pilotage est "saturée".

Dans le cas du vol de l'accident, cette valeur de saturation de l'ordre de variation d'assiette est de -1050 ft/mn. En effet le passage en configuration 2 avait induit par effet hypersustentateur une vitesse verticale positive de plus de 500 ft/mn alors même que l'équipage commandait une descente. Dans ce cas l'autorité du pilote automatique est augmentée (la valeur de saturation standard est de 350 ft/mn).

Ce principe de saturation a la conséquence suivante: que l'on sélectionne (dans ce cas) une vitesse verticale négative de 1050ft/mn ou de 6000ft/mn (valeur maximum sélectable), l'allure du début de la mise en descente est identique, et la mise en descente s'effectuera avec la même accélération verticale, bien que l'avion ne soit pas piloté en facteur de charge dans cette phase (variation du facteur de charge voisine de 0.12/0.13g dans ce cas). Seule la durée de l'accélération sera différente.

A l'approche de la valeur sélectée, le pilote automatique commande une variation d'assiette dans le sens inverse de la précédente. On dit que la boucle de pilotage automatique "désature". Cette désaturation se produit donc 1050ft/mn avant la valeur cible, soit à -2250 ft/mn si la valeur sélectée était de -3300 ft/mn. Elle se traduit par un à-coup sur la gouverne de profondeur, l'apparition d'une variation rapide d'environ + 0,1 g sur l'accélération verticale, une cassure de l'allure de l'assiette, et une courbe de vitesse verticale arrondie.

Note : La vitesse verticale enregistrée sur le QAR est une vitesse verticale barométrique (Vz). Afin d'obtenir ce même paramètre, la vitesse verticale barométrique calculée par la simulation est obtenue en affectant la vitesse verticale géométrique du coefficient de correction de température: [1 - (T°-TISA) / T°].

L'analyse de la structure des lois de pilotage en mode FPA conduit à des constatations analogues. La variation d'assiette longitudinale commandée par le pilote automatique est saturée lorsque l'écart entre l'angle actuel et

l'angle sélecté dépasse une certaine limite.

Dans le cas du vol de l'accident, cette valeur de saturation de l'ordre de variation d'assiette est de 585 deg*kt. En effet le passage en configuration 2 avait provoqué un angle de montée de plus de 1,5° alors même que l'équipage commandait une descente. Comme dans le mode VS, l'autorité du pilote automatique est augmentée dans ce cas: la valeur de saturation standard est de 195 deg*kt sinon.

La désaturation se produit donc dans les mêmes conditions 585 deg*kt avant la valeur cible, soit 3.4° avant l'angle sélecté (compte-tenu de la vitesse sol de 170 kts). Si la valeur sélectée était de 9°9 et si on convertit ces données en vitesse verticale, on trouve que le point théorique de désaturation en mode FPA correspond à une Vz de 1965 ft/mn. Ce point se traduira par les mêmes phénomènes que la désaturation en mode VS : on peut observer un à-coup sur la gouverne de profondeur, et l'apparition d'une variation rapide d'environ + 0,1 g sur l'accélération verticale.

La simulation numérique prédit par conséquent un point de désaturation situé nettement plus tôt dans le temps en mode FPA (Vz= -1964 ft/mn) que dans le cas du mode VS (Vz= -2250 ft/mn). Le calcul d'erreur montre que cette discrimination résiste aux erreurs possibles (un décalage d'un cycle de calcul de la loi de pilotage (180 ms) entraîne une erreur de 36 ft/mn ; une erreur de +/- 5 kts sur le module de la vitesse sol entraîne une erreur de 80 ft/mn).

Note : L'angle de descente (FPA) est obtenu par le calculateur à partir de la vitesse verticale baro-inertielle (VzBI) par la formule suivante :

tangente(FPA) = VzBI/Vsol

où Vsol est la vitesse sol de l'avion calculée par intégration des accélérations mesurées suivant l'axe "nord" et l'axe "est" par les IRS.

La vitesse verticale baro-inertielle n'est pas enregistrée. Cependant son mode de calcul est tel que cette vitesse verticale est égale à la vitesse verticale barométrique pour les dynamiques lentes. C'est le cas entre les temps 3015 et 3035 et on peut donc assimiler la vitesse verticale enregistrée sur le QAR et celle qui était prise en compte pour le calcul du FPA.

Le point de désaturation correspondant aux symptômes décrits plus haut est repérable sur l'enregistrement QAR au temps 3027. La vitesse verticale moyenne au voisinage de cet instant est de l'ordre de -2250 ft/mn (plutôt supérieure). Ce point correspond donc à la prédiction de la simulation pour le mode VS.

117.55 - Conclusion

L'analyse des données enregistrées par le QAR a permis d'établir qu'aucun changement de référence entre les couples HDG/VS et TRK/FPA n'était intervenu à partir de la mise en virage retour sur ANDLO.

La comparaison des données enregistrées avec les résultats des simulations numériques, et notamment la valeur de la vitesse verticale atteinte et la comparaison des points de désaturation de la loi de pilotage vertical, montrent avec une grande cohérence d'ensemble que la référence active était presque certainement HDG/VS.

La recherche en simulation de valeurs aussi proches que possible des valeurs enregistrées conduit à établir comme probables les événements suivants:

- vent moyen en cours d'approche: de l'ordre de 20 kts du 074° environ;
- sélection du cap 090° au temps généré 2902
- sélection du cap 051° entre les temps généré 2902 et 2977 (probablement après 2945);
- sélection du cap 066° au temps généré 2986;
- sélection du cap 071° au temps généré 3000;

- activation du mode VS au temps généré 3005;
- prise en compte par le pilote automatique d'une vitesse verticale de consigne d'au moins -1050 ft/mn avant le temps généré 3009;
- entre les temps 3009 et 3026, l'écart entre la vitesse verticale de l'avion et la consigne était d'au moins -1050 ft/mn;
- à partir du temps 3026, la consigne de vitesse verticale valait -3300 ft/mn.

117.6 - Recherche d'événements liés à un taux de descente anormal

117.61 - Préambule.

La commission a exploité d'une part les documents évoqués au § 117.2 et qui traitent de défaillances d'origine technique, et d'autre part les comptes-rendus d'événements d'origine opérationnelle signalés par les exploitants d'A320. (Voir en annexe 15 le descriptif des modes de pilotage de l'A320).

Pour ceci la commission a interrogé les compagnies exploitant l'A320, soit directement soit par l'intermédiaire des autorités de l'aviation civile des pays étrangers. Des recherches similaires ont également été réalisées par Airbus-Industrie.

117.62 - Evénements d'origine opérationnelle

117.621 - Incident de la compagnie British Airways de juillet 1988: plus probablement d'origine technique: voir § 117.631.

117.622 - Lors d'une approche d'un A320 de la compagnie Air France vers l'aérodrome de Dusseldorf, l'équipage exécute une procédure ILS sans radio-alignement de descente. L'avion évolue en IMC, pilote automatique engagé. Pour l'approche finale, le commandant de bord a l'intention de commander la descente en mode FPA 3°. Environ 30 secondes après le début de descente effectué à 2860 pieds, le GPWS retentit en modes 1 et 2. L'avion est alors à 1100 pieds de hauteur. Le pilote automatique et l'automanette sont débrayés, les aérofreins sont déployés pour résorber l'excès de vitesse. La hauteur minimale atteinte a été de 630 pieds. L'avion remonte à 1250 pieds. La finale est stabilisée à 500 pieds. Le rétablissement de l'avion s'est fait en conditions météorologiques de vol à vue.

Le commandant de bord a déclaré que lorsque le GPWS a retenti, il a noté que l'avion descendait à 3000 pieds par minute et que le mode HDG-VS était actif. Il considère qu'il a probablement oublié de changer de mode avant la mise en descente.

Cet incident avait été étudié par la commission d'analyse des vols de la compagnie en juillet 1990. Il n'était pas connu des services officiels ni du constructeur.

117.623 - L'incident suivant est issu du système de rapport confidentiel américain. (Avant l'accident du F-GGED, cet événement n'était pas connu du constructeur ni des services officiels. De plus, dans le rapport confidentiel, le type d'avion est désidentifié. C'est l'analyse qui amène à conclure que l'avion impliqué était très probablement un A320).

Lors d'une approche LLZ à San Diego, l'équipage d'un A320 fait une confusion de mode (VS au lieu de FPA) et sélecte 3000 pieds par minute au lieu de 3°. L'équipage détecte son erreur, et tout en conservant le mode VS, ajuste la valeur à 1200 pieds par minute. L'équipage oublie de stabiliser l'avion au palier spécifié à 2000 pieds. La descente est poursuivie en dessous de la hauteur minimale publiée pour cette approche. L'équipage détecte l'erreur et réajuste son approche en conditions de vol à vue.

117.624 - Environ deux mois après l'accident du F-GGED ,un A320 de la compagnie Air Inter effectue une approche VOR DME vers l'aérodrome de Nantes. Après avoir commandé la descente, le commandant de bord

remarque un accroissement de la vitesse indiquée. Un contrôle des paramètres lui permet de détecter qu'il a omis de passer le mode en FPA et que l'avion descend en mode Vs avec une valeur affichée au FCU correspondant numériquement à celle du FPA qu'il souhaitait commander. Pour corriger la situation, il appuie sur le bouton de changement de mode ce qui, compte tenu de la logique du système, n'a eu aucun effet (un tel changement de mode fige la valeur de consigne en FPA sur la valeur instantanée du plan de descente avec un maximum de 9.9°). Il détecte de nouveau le caractère anormal de la situation par la persistance de l'accroissement de vitesse. Un nouvel examen des paramètre montre que celui-ci est en mode FPA mais avec une valeur de 9.9°. La situation est restaurée en affichant FPA 0, environ une minute après le début de descente finale, jusqu'à avoir retrouvé le plan nominal. L'événement s'est déroulé en conditions de vol à vue.

117.625 - Incident de la compagnie Air France, (peut-être également d'origine technique, voir § 117.634).

Un équipage d'Air France a rapporté qu'une simple rotation de sélecteur VS avait provoqué l'engagement du mode sans que le pilote ait tiré sur le bouton. Cet incident peut recevoir une explication de type opérationnel. En effet, par conception, l'exécution d'un palier en affichant VS=0 conduit à l'affichage du mode ALT au FMA au lieu de VS au bout de quelques secondes. La simple rotation du rotacteur VS-FPA conduit alors à mettre l'avion en montée ou en descente, sans avoir à tirer le rotacteur.

117.63 - Evénements dus à des défaillances techniques

117.631 - En juillet 1988, un A320 de la compagnie British Airways effectue une approche LLZ (localizer : radio-alignement de piste) vers l'aérodrome de Gatwick. L'avion évolue en IMC, pilote automatique engagé. Le commandant de bord commande la descente en mode FPA (selon son témoignage). Le GPWS retentit en modes 1 (taux de descente excessif) et 2 (taux excessif de rapprochement du sol). Une remise de gaz est exécutée. L'appareil est descendu jusqu'à une hauteur d'environ 500 pieds.

L'analyse des paramètres de vol a montré que cette descente avait en fait été exécutée en mode VS. De son côté, le commandant de bord affirme avoir commandé la descente en FPA. A cette époque, la version de logiciel du FCU rendait possible une telle réversion de mode. Ce dysfonctionnement avait été corrigé et le FCU S/N 200 monté sur le F-GGED avait subi cette modification.

Les éléments d'analyse de cet incident disponibles n'ont pas permis de déterminer s'il s'agissait d'une réversion de mode due à un défaut de logiciel corrigé depuis, ou d'une confusion de l'équipage dans la sélection de la référence de trajectoire.

117.632 - Des faux contacts de boutons-poussoirs carrés du FCU (LOC, APPR, AP, ...) ont été signalés : bien que le bouton soit enfoncé le mode sélecté ne s'engage pas.

117.633 - Des cas de dysfonctionnements des boutons de commande du FCU et des défauts d'affichage (barrettes LCD hors service) ont été signalés et confirmés.

117.634 - Un équipage d'Air France a rapporté qu'une simple rotation de sélecteur VS avait provoqué l'engagement du mode sans que le pilote ait tiré sur le bouton. Cet incident peut être compris comme une anomalie technique dans le comportement du rotacteur. (Cet incident peut également recevoir une explication de type opérationnel: cf 117.625).

117.635 - En ce qui concerne le traitement des commandes effectuées à partir du FCU, Air Inter a signalé en septembre 1992 des cas de corruption de la valeur de vitesse verticale sélectée par l'équipage. A trois reprises, sur le même avion et de façon aléatoire le pilote automatique a stabilisé l'avion à une vitesse verticale différente de celle affichée au FCU.

Ces événements concernaient le FCU S/N 137. Les expertises réalisées ont montré qu'ils étaient dus à un défaut de fonctionnement de certains composants de mémoire RAM d'une carte ARINC (transfert de données) du FCU.

117.636 - Airbus Industrie a dressé la liste des anomalies de pilote automatique qui lui ont été rapportées et qui ont été attribuées ou qui pourraient être attribuées à un mauvais fonctionnement du FCU.

Seize cas ont été recensés entre juillet 1989 et septembre 1992. Parmi ces seize cas, celui signalé par Air Inter (voir § précédent) est formellement attribué à un défaut d'une mémoire RAM du FCU.

Un événement similaire au cas Air Inter, survenu au cours d'une approche effectuée en mode FPA, a été rapporté par l'équipage d'une autre compagnie.

Parmi les autres événements signalés à Airbus Industrie on relève des cas de non capture de niveau (ou d'altitude) sélecté.

Les cas signalés par d'autres exploitants de l'A320 se retrouvent dans ceux cités ci-dessus.

117.64 - Conclusion

Ce paragraphe ne reflète que les événements qui ont été, même tardivement rapportés.Il est très probable qu'il ne soit pas exhaustif tant en ce qui concerne les événements d'origine opérationnelle que les événements d'origine technique. (Le problème du "retour d'expérience" est développé au § 118.6).

De plus les événements cités aux § 117.621 et 117.623 n'ont pas fait l'objet d'une étude précise; ils sont donc connus d'une façon incomplète.

117.7 - Recherches relatives au données plan de vol affichées sur les écrans de navigation

Afin de tenter d'identifier les manoeuvres effectuées par l'équipage sur les instruments de navigation et sur le FMS de l'avion, un simulateur de vol d'Air Inter a été utilisé. Seuls sont exposés ici les éléments de cette simulation qui sont relatifs à la dernière phase du vol, après le survol de STR.

Toutes les possibilités qui ont pu être envisagées ont été explorées. On notera que l'incertitude concernant les actions de l'équipage a empêché d'établir formellement quelles étaient les données "plan de vol" affichées sur l'écran de navigation du commandant.

117.71 - Actions de l'équipage sur le plan de vol, avant le survol de STR

Chaque pilote dispose d'un MCDU (Multipurpose Control and Display Unit). Le clavier-écran MCDU permet notamment l'introduction et la modification du plan de vol (voir annexe 15).

C'est au moyen de son MCDU que, selon toute vraisemblance, le commandant avait sélectionné une approche ILS 23 à Strasbourg lors de la préparation du vol à Lyon. Puis, au cours du vol, le copilote a sélectionné l'approche VOR DME 05. Et aux environs de LUL (Luxeuil), le commandant a de nouveau sélectionné une approche ILS 23.

117.72 - Insertion de la piste 05 au MCDU après survol de STR

L'avion vient de passer STR et effectue son virage à gauche vers le cap 230. Au temps QAR 2660 la fréquence de l'ILS 23 disparaît de l'enregistrement QAR. C'est probablement à ce moment qu'un membre de l'équipage (sans doute le commandant, compte tenu du CVR) a sélectionné la piste 05.

Le choix proposé au MCDU est le suivant : "VOR 05" ou "05". Puisque le VOR STR n'était pas déclaré hors fonctionnement le commandant a très probablement sélectionné "VOR 05".

En ce qui concerne le choix de l'arrivée, trois cas doivent être envisagés:

- pas de sélection de STAR (Standard Arrival);

- sélection de "NO STAR" (même résultat que le choix précédent);

- "LUL 05";

Compte tenu de la position de l'avion, il est difficile de préciser l'option choisie par l'équipage.

Enfin, en ce qui concerne le choix des "VIAS", là encore, trois cas sont possibles:

- non sélection de la touche "VIAS";

- sélection de la touche "VIAS" et insertion d'un "NO VIA" (même résultat que le choix précédent);

sélection de la touche "VIAS" puis insertion d'un "VIA SE". Dans ce cas le plan de vol comportera le point SE.

Conclusion :

Il est très probable qu'après le survol de STR, le commandant a sélectionné une "VOR 05" avec comme configuration d'arrivée "NO STAR" ou "STAR LUL05", et "VIA SE" ou "NO VIA".

117.73 - Détermination du plan de vol affiché sur les écrans de navigation à la suite de l'insertion "VOR 05"

Pour déterminer quels repères étaient affichés sur les écrans de navigation après l'insertion "VOR 05" différentes combinaisons ont été simulées, selon les actions envisagées du pilote depuis le moment où il avait reçu l'instruction de se diriger vers ANDLO (voir CVR, temps 2215).

La conclusion de la simulation est la suivante:

L'insertion d'une piste 05 au MCDU après STR fait apparaître en finale les tronçons ANDLO - STR07 - LFST05, hormis dans le cas suivant: à partir du plan de vol ILS 23 STAR LUL23 via SE, insertion d'un DIR TO ANDLO et suppression d'OBORN et de la discontinuité puis insertion d'une VOR 05 no via.

Le plan de vol final devient alors suivant les essais, soit ANDLO - STR07 - LFST05, soit STR07 - LFST05, soit un tronçon de la remise de gaz. Il n'a cependant pas été possible de déterminer si cette anomalie était ou non liée à l'interface "simsoft" du simulateur d'Air Inter (le calculateur FMGC lui-même est un calculateur avion réel).

117.74 - Informations visualisées sur l'écran de navigation du commandant pendant le dernier virage

L'enregistrement QAR montre que le commandant est passé du mode d'affichage ARC NAV 20 NM au mode Rose VOR au temps 2903, puis est repassé en mode ARC NAV 20 NM au temps 2959 puis, au temps 2971, a de nouveau sélectionné l'affichage du mode ROSE VOR. Voir en annexe 12 ces sélections positionnées sur la trajectoire de synthèse.

117.8 - Essais et recherches concernant la trajectoire.

117.81 - Reconstitution de la trajectographie du F-GGED

Une connaissance la plus précise possible de la trajectoire suivie par le F-GGED dans les dernières minutes de vol et particulièrement lors du dernier virage et de l'approche finale était nécessaire pour plusieurs raisons:

- évaluation du fonctionnement des systèmes de navigation au sol (stations VOR et TACAN), à bord (VOR, DME, FMGC);
- compréhension fine des actions de l'équipage et analyse de sa charge de travail;
- évaluation du comportement d'un éventuel système GPWS, dans les circonstances du vol du F-GGED.

L'étude réalisée a conduit à l'obtention d'une trajectographie dite de "synthèse" (jointe en annexe 12) par juxtaposition de trois trajectographies jugées les plus proches de celle de l'avion depuis son passage à ANDLO jusqu'à l'accident:

- la trajectographie issue de l'enregistrement des coordonnées de l'avion calculées par le FMGC 1

jusqu'au temps QAR 2799,

- puis la trajectographie obtenue par application d'une technique de suivi de terrain entre les temps QAR 2800 et 3045,

- et, pour les vingt dernières secondes du vol, la trajectographie obtenue par recalcul de la trajectoire finale de l'avion à partir des paramètres qui ont pu être lus sur la bande endommagée du QAR.

117.82 - La trajectographie "FMGC"

En ce qui concerne la datation des coordonnées enregistrées sur le QAR, il faut noter que la latitude et la longitude sont enregistrées une fois toutes les 4 secondes, avec un délai moyen de 5 secondes pour la latitude et de 6 secondes pour la longitude. Ces délais sont dus aux temps d'exploitation et de transmission par les calculateurs DMC et FDIU. Ils ont été pris en compte lors de la synchronisation de ces coordonnées avec celles déterminées par application de la technique dite de "suivi de terrain".

117.83 - La trajectographie "radiosonde"

Cette trajectographie a été obtenue en exploitant la hauteur radioaltimétrique, la vitesse, le cap et l'altitude de l'avion enregistrés chaque seconde sur le QAR.

Les paramètres de vol cités ci-dessus ont été corrélés avec les données d'une carte géographique du relief d'échelle 1/25000^{ième}. Des points caractéristiques du relief tourmenté survolé par le F-GGED à partir du temps QAR 2800 ont permis de valider la trajectographie et d'en estimer la précision à environ 100 mètres. En conséquence, on estime que cette trajectographie peut être retenue comme référence pour cette partie du vol.

A contrario, la méthode est inefficace lorsque le terrain est plat, c'est-à-dire dans la phase du vol avant le temps QAR 2800.

117.84 - Comparaison des trajectographies "radiosonde", "FMGC" et radars

La comparaison des trajectographies radars avec la trajectoire FMGC1 est satisfaisante. Cependant les trajectoires radar sont insuffisamment précises en elles-mêmes pour être utilisées comme base de travail.

La trajectographie issue du calcul de coordonnées FMGC1 a été comparée à la trajectographie "radiosonde" pour la partie du vol où cette dernière est retenue comme référence. L'écart latéral maximum constaté est d'environ 0,15 NM (280m).

Le calcul de position par le FMGC 1 ne présente donc pas d'anomalie.

117.85 - La trajectographie de la phase finale du vol

Pour les dernières secondes du vol, l'endommagement de la bande QAR n'a pas permis de disposer des paramètres nécessaires à la reconstitution "radiosonde" ou "FMGC". En revanche, la faible durée du vol considérée a permis de déterminer la trajectoire d'un avion simulé, à partir des paramètres de configuration et de vitesse qui ont pu être lus.

117.86 - La trajectographie de "synthèse"

La trajectographie de "synthèse" obtenue par juxtaposition des trajectographies décrites aux § 117.82, 117.83, et 117.85, est jointe en annexe 12.

117.9 - Essais et recherches concernant les réactions d'un GPWS

117.91 - Objectif de l'étude

Comme les autres A320 d'Air Inter à la date de l'accident, le F-GGED n'était pas équipé de GPWS.

Compte-tenu des circonstances générales de l'accident qui le classent dans la catégorie "vol piloté dans le relief", on a procédé à une étude des réactions qu'aurait pu avoir un tel équipement si l'avion en avait été doté.

A la date de l'accident, seule la version Mark III du GPWS était certifiée sur A320 (la version Mark V a été certifiée sur A320 le 10 mars 1992). On a donc considéré pour cette étude de simulation les caractéristiques et performances de la version Mark III, mais les différences obtenues avec la version Mark V sont cependant indiquées le cas échéant.

117.92 - Rappel du fonctionnement d'un GPWS

117.921 - Principes

Cet équipement élabore un certain nombre de domaines de déclenchement d'alarmes spécifiques annonçant un risque de collision avec le sol survolé. Il travaille à partir d'une information primaire, la hauteur radio-altimètrique, dont il déduit par différenciation une vitesse de rapprochement du sol. Ceci a pour corollaire que le GPWS ne "voit pas au devant de l'avion".

Il exploite également des informations complémentaires telles que vitesse air, altitude et vitesse verticale barométriques, et écart par rapport au glide.

D'autres informations, provenant de capteurs témoignant de la configuration avion (train, volets), déterminent des sous-modes de fonctionnement, à l'intérieur des domaines primaires.

117.922 - Commandes et contrôles

L'installation se compose d'un calculateur et d'un tableau de commandes et contrôles, comportant en général:

- un voyant lumineux témoignant d'une alarme GPWS, associée à l'alarme sonore caractéristique du mode activé,
- un ou plusieurs poussoirs servant:
  - à inhiber le système;
  - à inhiber certaines alarmes spécifiques qui deviendraient systématiques en cas de configuration de vol anormale (becs,volets) identifiée.

117.923 - Modes d'alarme

Le GPWS détecte plusieurs cas de rapprochement dangereux avec le sol, qui donnent lieu à plusieurs modes de fonctionnement. Sur A320 les modes disponibles sont les suivants:

Mode 1: détecte un taux de descente barométrique (vario) excessif. Critères de taux modulés en fonction de la hauteur.

Mode 2: Taux de rapprochement excessif du sol. La hauteur radiosonde et sa dérivée sont utilisées. Le domaine est modulé suivant hauteur et vitesse.

Note : les derniers équipements Mark V et Mark VII modifient les seuils d'alerte des modes précédemment cités, en particulier le mode 2, en fonction de la vitesse de rapprochement du relief et de la hauteur, et éventuellement de la piste utilisée sur un plus grand nombre d'aéroports que la version Mark III, afin d'éviter au maximum les alarmes non justifiées.

Mode 3 : Perte d'altitude après décollage.

Mode 4 : Configuration anormale (trains, volets rentrés...) en fonction de la hauteur et de la vitesse.

Mode 5 : Passage sous le plan de descente ILS.

Mode 6 : Minimum. Ce mode n'est pas installé sur A320, car il ferait double emploi avec l'autocall-out du radio altimètre.

Les modes ne possèdent pas de prépondérance les uns par rapport aux autres. Seules les alarmes qu'ils déclenchent sont soumises à un ordre prioritaire:

1." Whoop-Whoop, Pull UP" Modes 1 et 2

2. "Terrain" Mode 2

3. "Too Low Terrain" Mode 4

4. "Too Low Gear" Mode 4

5. "Too Low Flaps" Mode 4

(6. "Minimums" Mode 6)

7. "Sink Rate" Mode 1

8. "Don't Sink" Mode 3

9. "Glideslope" Mode 5

Les alarmes sont sonores et visuelles. Détaillons les modes 1 et 2, pour ce qui est du GPWS du modèle Mark III.

117.924 - Fonctionnement en mode 1 vario excessif en descente

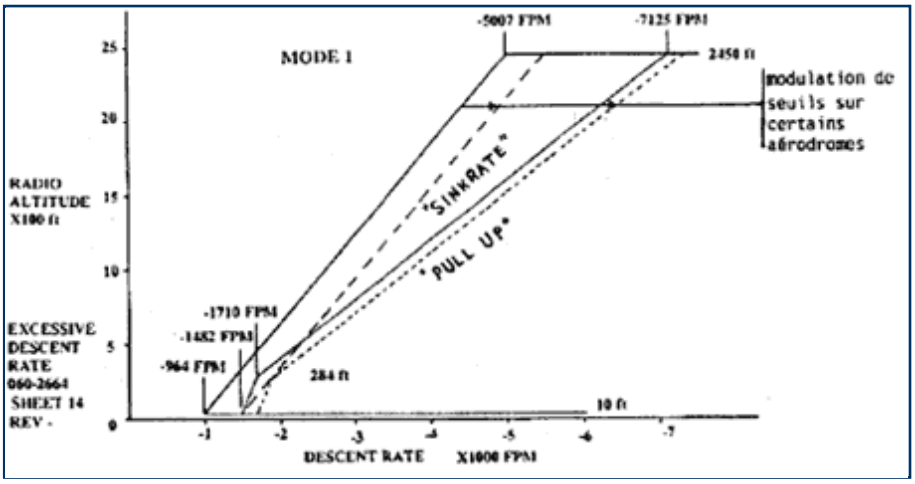
A partir de deux informations - vario et hauteur radio-altimètrique - le GPWS détermine un domaine de déclenchement d'alarmes.

Ce domaine comporte 2 parties, correspondant au déclenchement de deux alarmes différentes :

. "Sink Rate",

. "Pull Up".

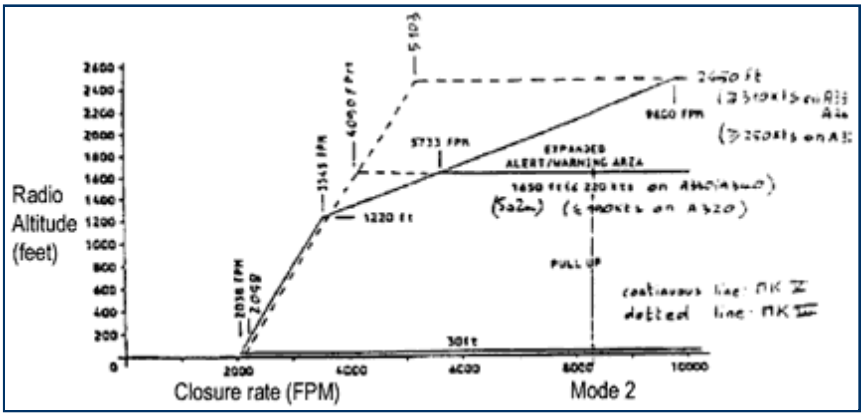
Le croquis ci-après donne les domaines de fonctionnement des deux alarmes, compte tenu d'une temporisation de 0,8 s pour le domaine Sink Rate, 1,6 s pour le domaine Pull Up.



117.925 - Fonctionnement en mode 2 rapprochement excessif du sol

L'alarme "Terrain terrain pull up" est déclenchée à partir d'un domaine variable, à partir de 1650 ft jusqu'à 2450 ft, suivant la vitesse air de l'avion et sa configuration.

L'alarme est automaintenue : si l'avion ne monte pas d'au moins 300 pieds barométriques, ou si le train n'est pas sorti, les signaux sonores et visuels continuent. Dans ce cas l'équipage peut couper uniquement l'alarme sonore par le bouton "Emergency audio cancel"; une nouvelle condition d'alarme réactivera l'alarme sonore. Par ailleurs il peut inhiber complètement le GPWS par la commande de contrôle du système, le réarmement étant possible au cours du vol, avec réactivation de l'alarme précédente, sonore et visuelle, mémorisée.



117.93 - Procédures d'utilisation du GPWS

Les procédures d'utilisation du GPWS varient d'une compagnie à l'autre et en fonction du type d'avion. Elles prennent généralement en compte la nécessité d'une réaction rapide pour ce type d'alarme, et la lutte contre les alarmes non justifiées.

Les procédures les plus détaillées distinguent généralement plusieurs cas :

- si l'alarme n'est pas identifiée de manière immédiate et évidente comme une alarme non justifiée, il est demandé une procédure d'évitement, avec une mise en montée maximale jusqu'à la fin de l'alarme.
- en conditions IMC ou de nuit, toute alarme du type "whoop whoop Pull Up", "terrain", "Too Low Terrain", doit entraîner une action immédiate de mise en montée maximale.
- les alarmes différenciées comme "too low flaps", "too low gear", "sink rate", "glide slope" doivent donner lieu à une action corrective sans délai.
- en conditions météorologiques de vol à vue (VMC) et de jour, la décision peut appartenir à l'équipage.

A la date de l'accident, les cartes utilisées par les équipages de la compagnie Air Inter étaient des cartes Air France (voir en annexe 4). Elles mentionnaient pour la zone d'Andlo et du virage de procédure des hélicoïdes symbolisant une possibilité d'alarmes GPWS non justifiées. Les procédures Air France, (qui ne sont pas diffusées aux équipages d'Air Inter), explicitent alors la réaction à tenir par l'équipage dans ce cas :" [A320 DO.NT 0334] Ne pas tenir compte de l'alarme lorsqu'une telle situation est bien identifiée."

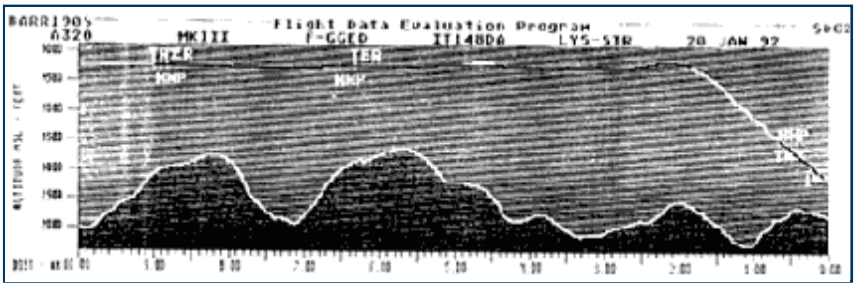
117.94 - Simulation du cas de l'accident

On a procédé, sur ordinateurs et sur matériels réels, à des simulations du comportement d'un GPWS alimenté par les paramètres de vol tirés du QAR du F-GGED, le long de la trajectoire de référence définie au § 117.8.

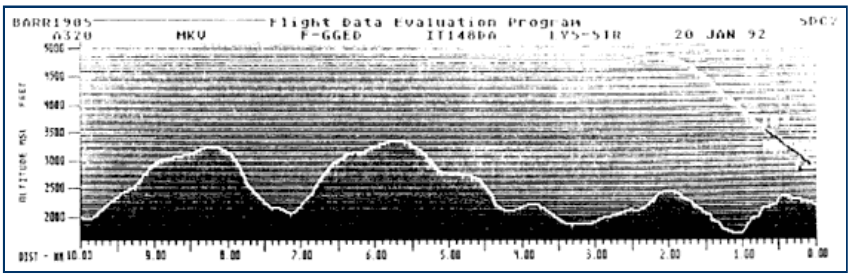
Il convient de remarquer que ce type de simulation obtenue à partir d'échantillonnages de paramètres prélevés toutes les secondes, ne peut prétendre à une précision temporelle meilleure que une à deux secondes. Cette précision est bien suffisante compte tenu de celle avec laquelle peut être appréhendée la durée moyenne des délais de réaction des opérateurs humains.

En version Mark III on obtient une alarme (Terrain Pull Up) peu avant le virage de procédure, une autre au milieu de ce virage ; ces alarmes ne correspondent pas à un risque réel. Elles sont automaintenues et durent jusqu'à la sortie du train. Il est à noter qu'une simulation effectuée à une vitesse de moins de 200 noeuds voit disparaître ces alarmes.

Lors de la descente finale, environ 18 secondes avant l'impact, apparaît une alarme "Terrain Terrain", suivie deux secondes plus tard d'une alarme "Whoop Whoop Pull up" répétée jusqu'au moment de l'accident :



En version Mark V, seules les alarmes de la descente finale subsistent, à des moments sensiblement identiques.



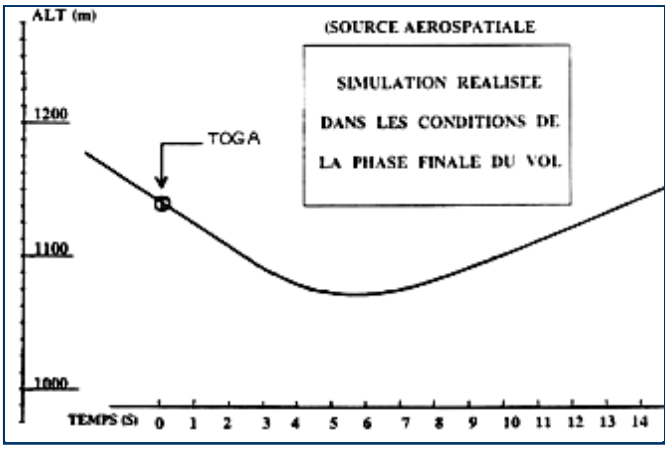
Pour effectuer une remise de gaz, le pilote positionne les manettes de poussée dans le cran TO/GA (Take Off/Go-Around).

Si le pilote automatique est engagé, le mode Go Around est alors automatiquement engagé et la ressource s'effectue sous un facteur de charge d'environ 1,3 g atteint au bout de 1,5 seconde environ. Si le pilote le souhaite, il lui est possible de reprendre la main, par exemple en appliquant une déflexion sur le manche. Le pilote automatique se déconnecte alors et on est conduit au cas suivant.

En mode manuel, la ressource est commandée par action sur le manche vers l'arrière et en plaçant les manettes de puissance dans le cran TO/GA. Volets sortis, le facteur de charge obtenu en ressource par totale déflexion du manche vers l'arrière est égal à 2 g. Toutefois dans ce mode, si le pilote suit les ordres du directeur de vol, la ressource effectuée sera comparable à celle conduite par le pilote automatique, c'est-à-dire sous un facteur de charge voisin de 1,3 g.

Une simulation de manoeuvre d'évitement en remise de gaz automatique, dans les conditions de l'avion dans la phase finale du vol, a été réalisée. Sans prendre en compte un temps de réaction de l'équipage, cette simulation montre que le temps nécessaire pour passer de 3300 ft/mn à une vitesse verticale nulle est d'environ 7 secondes et que la perte de hauteur est d'environ 230 ft (70 m). Le profil de la trajectoire simulée est reproduit ci-dessous.

La remise de gaz effectuée en mode manuel avec déflexion maximale du manche vers l'arrière permet de réduire à environ 5 secondes le temps nécessaire pour passer de 3300 ft/mn à une vitesse verticale nulle.



CHAPITRE 1.18 - RENSEIGNEMENTS SUPPLEMENTAIRES.

118.1 - Certification de l'ergonomie du poste de pilotage de l'A320

118.11 - Les objectifs réglementaires

Les exigences de navigabilité relatives au poste de pilotage, comme celles couvrant les autres domaines de la certification, ne visent pas à obtenir le meilleur arrangement possible (dans la mesure où cette notion aurait un sens), mais à définir des objectifs minimaux, qui sont essentiellement:

- ménager un niveau de confort (notamment vis à vis des intempéries), permettant à l'équipage d'effectuer ses tâches sans effort, concentration ou fatigue déraisonnables;
- ménager une visibilité extérieure suffisante.
- minimiser les risques de confusion dans l'utilisation des commandes, notamment par standardisation de la forme et du mouvement des commandes primaires de pilotage;
- minimiser les ambiguïté dans les informations fournies à l'équipage;
- permettre à l'équipage minimal de conduite d'exercer ses fonctions sans charge de travail excessive (fatigue, concentration).

118.12 - Principales références réglementaires

L'Airbus A 320 a été certifié par les autorités françaises, anglaises, néerlandaises et allemandes sur la base d'un ensemble commun d'exigences de certification, ou "bases communes de certification", comprenant le règlement JAR 25 jusqu'à l'amendement 11 (sauf JAR 25.207 restant jusqu'à l'amendement 10) et les ACJS correspondantes, des conditions techniques complémentaires (JAR AWO), et des conditions spéciales avec des éléments d'interprétation.

Les exigences réglementaires applicables aux aspects ergonomiques du poste de pilotage de l'A320 examinés dans le cadre de la présente enquête sont essentiellement données par les extraits suivants de ces bases communes de certification:

- JAR 25.771. Compartiment de pilotage

"(a) Chaque compartiment de pilotage et son équipement doit permettre à l'équipage minimal de vol (établi selon le JAR 25.1523) d'accomplir son service sans concentration ou fatigue déraisonnable.

- JAR 25.777. Commandes de la cabine de pilotage

"(a) Chacune des commandes de la cabine de pilotage doit être située pour en permettre une utilisation commode, et pour éviter la confusion et l'utilisation par inadvertance. (Voir ACJ 25.777 (a))

(g) Les boutons de commandes doivent avoir une forme telle qu'elle empêche la confusion. Les boutons doivent être de la même couleur et cette couleur doit contraster avec la couleur des boutons de commande ayant d'autres buts et avec la cabine de pilotage environnante."

- JAR 25.1303. Instruments de vol et de navigation

"Tous les instruments de vol et de navigation doivent avoir des caractéristiques convenables pour emploi sur l'avion particulier considéré. La présentation doit être claire et non ambiguë."

- JAR 1309. Equipements, systèmes et installations

"Des informations d'avertissement doivent être fournies pour alerter l'équipage sur des états de fonctionnement dangereux d'un système, et lui permettre de prendre toute mesure appropriée. Les systèmes, les commandes, et les moyens associés de surveillance et d'avertissement doivent être conçus pour réduire au minimum les erreurs de l'équipage qui pourraient créer des dangers supplémentaires."

- AMC S20. Electronic Instrument System

Ce document définit les moyens acceptables de conformité (Acceptable Means of Compliance) pour la certification des EFIS. Il contient des exigences générales valables pour tous les écrans CRT (Cathode Ray Tube) et qui concernent la lisibilité, la stabilité, la brillance, la colorimétrie, la fiabilité de l'image et la reconfiguration des affichages en cas de panne. La symbologie fait l'objet du paragraphe 2.1.4 de ce document. Les affichages concernant plus particulièrement les paramètres de vol et de navigation font l'objet du paragraphe 3 de ce document. Ce paragraphe contient en particulier des dispositions qualitatives concernant la présentation de l'information.

- Condition spéciale S30 Autoflight system

" Des moyens doivent être fournis pour indiquer à l'équipage le mode actif et tous les modes armés par le pilote. La position du bouton de sélection de mode n'est pas un moyen acceptable d'une telle indication".

118.13 - Moyens de conformité utilisables

Cette réglementation définit des exigences qui peuvent concerner soit directement la conception de l'avion (elles définissent alors comment doit être conçue telle ou telle de ses composantes), soit le résultat à obtenir (elles définissent alors des objectifs généraux à satisfaire).

La conformité aux exigences directes de conception (par ex: forme d'un bouton, sens de déplacement d'une commande) est en général assez simple à évaluer car elle laisse peu de place à l'interprétation. Elle est déterminée par des constatations directes sur des plans ou des descriptions, par des examens de maquettes ou des visites de cockpit par des ingénieurs et pilotes.

La réglementation par les objectifs vise à assurer certains résultats généraux (par ex : JAR 25.777(a) "Chaque commande du poste de pilotage doit être localisée de manière à permettre une utilisation commode et empêcher la confusion et l'utilisation par inadvertance.").

La détermination de conformité à ce type d'exigences repose aujourd'hui sur des évaluations qualitatives fondées sur l'expérience, à travers l'avis de plusieurs pilotes expérimentés. L'évaluation "statique" du poste de pilotage est alors complétée par une évaluation dynamique "en situation". Pour cela, un ensemble de scénarios opérationnels réalistes composés d'une combinaison de pannes simulées et d'événements intérieurs (par ex : incapacité d'un pilote) et extérieurs (par ex : déroutement) est introduit dans des vols en ligne, réels ou simulés, effectués par des équipages de pilotes d'essais et/ou des pilotes de ligne familiarisés avec l'avion.

L'évaluation de conformité dans ces conditions fait appel au jugement de ces mêmes pilotes et à celui d'observateurs qualifiés qui suivent le vol en notant les faits significatifs. Pour conforter la valeur de ces avis,

chaque scénario est joué plusieurs fois avec des équipages différents. Ces évaluations sont complétées par les constatations faites au cours d'autres vols de certification, notamment ceux de certification du système de pilotage automatique.

118.14 - La certification de l'A320

Les moyens d'évaluation de conformité décrits ci-dessus ont été mis en oeuvre de la façon suivante pour la certification de l'A320:

118.141 - Inspection du poste de pilotage.

Une inspection du poste de pilotage a été conduite sur les avions numéro 3 (à Toulouse le 15 décembre 1987) et numéro 4. Ses conclusions sont consignées dans le document intitulé "Cockpit Inspection Report" et référencé 000190P0002/C07.

Ces conclusions indiquent que l'examen de l'avion numéro 3 a montré la conformité à la plupart des exigences réglementaires référencées, sauf pour quelques points demandant modification ou pour lequel un complément d'études est nécessaire. C'est le cas du FCU dont l'appréciation a été différée jusqu'à la campagne de vols en équipage minimal. Les résultats de ces vols ont permis aux autorités de certification de conclure à l'acceptabilité du FCU (voir résultats ci-dessous).

118.142 - Essais en vol de certification.

L'ergonomie du poste de pilotage a été évaluée par des équipages composés d'un pilote du constructeur et d'un pilote d'une des quatre autorités de certification, au cours d'essais conduits en vol et au simulateur dans une grande variété de conditions de fonctionnement. Les conclusions de ces évaluations sont consignées dans le document intitulé "Cockpit Flight Report" et référencé 000190P004/C06.

118.143 - Vols de démonstration de l'équipage minimal de conduite.

La démonstration de certification de l'A320 avec son équipage minimal de conduite a donné lieu à une campagne composée de 20 vols au simulateur et de 50 vols réels, effectués par 4 équipages différents sur une douzaine de scénarios potentiellement générateurs d'une charge de travail importante (introduction de pannes et conditions opérationnelles sévères).

Les conclusions de ces évaluations sont consignées dans les documents intitulés "Dynamic Workload Analyses - Simulator Campaign - Analytical Workload Calculations" (référence 00D102A0001 C0S) et "Dynamic Workload Analyses - Flight Campaign - Analytical Workload Calculations" (même référence).

Chaque vol y est décrit par le contenu du scénario, l'histogramme de la charge de travail évaluée par l'équipage et l'observateur, et le journal des événements significatifs.

Une analyse des erreurs commises par les équipages figure dans le rapport CEV n°14/CEV/IS/SE/AV.

Ont été retenues comme "erreurs de l'équipage" les actions (ou non-actions) des équipages déviant de celles normalement reconnues comme conformes aux règles de l'art de la profession en la matière. Selon le document cité, l'analyse de ces erreurs a été faite en vue de détecter celles qui pourraient justifier des actions correctives sur les procédures, les check-lists, ou l'avion.

A cette fin, les erreurs recensées au cours des vols au simulateur ou des vols réels ont été classées selon les deux critères suivants:

- un critère de gravité:

  M: erreur mineure; I: erreur importante; S: erreur affectant la sécurité du vol

- un critère de causalité:

. Classe A: erreur due à des oublis ou des maladresses de l'équipage pouvant avoir lieu en utilisation courante sur tous types d'avions

. Classe C: erreur due à une connaissance insuffisante de la machine ou des procédures ou encore à un manque d'habitude à voler en équipage à deux.

. Classe E: erreur évitable par une correction ou une modification soit des procédures, soit de l'avion.

Pour l'ensemble des 50 vols réels effectués, 81 erreurs ont été notées par les observateurs, avec le classement suivant:

- 63 erreurs classées M (87,8%)

- 17 erreurs classées I (21%)

- 1 erreur classée S (1,2%)

Après analyse, les origines et les causes de ces erreurs ont été classées comme suit :

- 37 erreurs classées A

- 16 erreurs classées C

- 11 erreurs classées A/C

- 12 erreurs classées E

- 5 erreurs déclassées

Pour l'ensemble des 20 vols effectués au simulateur, 16 erreurs ont été notées par les observateurs, avec le classement suivant :

- 13 erreurs classées M (81,3%)

- 3 erreurs classées I (18,7%)
Après analyse, les origines et les causes de ces erreurs ont été classées comme suit :

- 3 erreurs classées A
- 2 erreurs classées C
- 2 erreurs classées A/C
- 1 erreur classée C/E
- 7 erreurs classées E

Ce recensement des erreurs commises par les équipages, ainsi que les commentaires et observations recueillies au cours des vols et lors des débriefings effectués après chaque étape par les pilotes et les observateurs des services officiels, ont été utilisés pour clarifier, préciser et améliorer la présentation aux équipages des procédures, des check-lists des messages de l'ECAM, et de la MMEL.

En revanche, l'analyse qui a été faite de ces erreurs n'a pas conduit à une remise en cause de l'ergonomie, ou de certains aspects de l'ergonomie du poste de pilotage présenté à la certification.

Notamment, elle n'a pas fait ressortir d'erreur ou de confusion dans l'utilisation des modes de pilotage ou dans les informations présentées à l'équipage qui aient été attribuées à des caractéristiques inusuelles de l'ergonomie du poste de pilotage, y compris lorsque la charge de travail résultant des scénarios évalués était élevée.

Toutefois, au vu de la documentation de certification disponible, il n'est pas toujours possible de restituer avec certitude les modes utilisés au cours des essais.

118.144 - Vols d'endurance

La condition spéciale G17 "Operational proving flights" stipule "que doivent être réalisés tous les vols de tests estimés nécessaires par les autorités dans le but de déterminer si l'on a une assurance raisonnable que l'avion, ses composants et son équipement sont fiables et fonctionnent correctement".

Pour satisfaire à cette condition spéciale, une campagne d'endurance d'une centaine de vols a été effectuée par des pilotes des compagnies clientes en conditions opérationnelles réelles, sur un avion proche de la définition de série. Cette campagne a permis de recueillir l'avis d'un groupe de pilotes de ligne avant la certification, mais n'a toutefois pas fait l'objet d'un rapport de synthèse. L'expérience recueillie n'a pas conduit à remettre en cause un aspect quelconque de l'ergonomie du poste de pilotage.

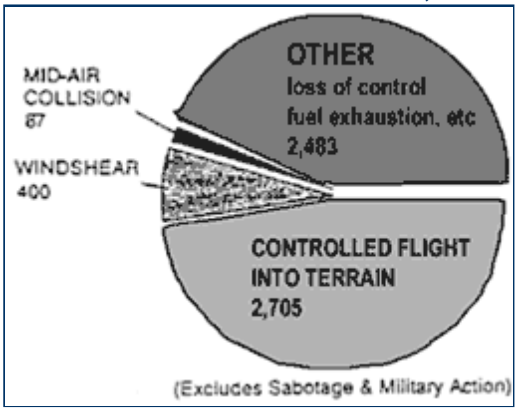
118.2 - Vols pilotés contre le relief et dispositifs de protection

118.21 - Introduction

La collision avec le sol ou l'eau d'un avion piloté est une des causes majeures de pertes de vies humaines en aviation de transport. On appelle ici vol piloté tout vol au cours duquel l'équipage n'a pas perdu le contrôle de l'avion, qui reste techniquement et aérodynamiquement pilotable. La probabilité de survie à un tel accident est très faible, du fait de la grande énergie cinétique et de la concentration de l'impact.

Une étude américaine fait état de 2705 vies perdues dans des vols pilotés contre le relief (CFIT: Controlled Flights Into Terrain), sur un total de 5675 dans la décennie 1979-1989 :

Worldwide Airline fatalities 1979-1989 by type of accident
Total : 5,675



(source Sunstrand)

L'ampleur du problème a conduit à la recherche de solutions spécifiques chargées d'avertir l'équipage d'un accident potentiel, alors que les autres sécurités, c'est à dire les procédures utilisées, l'instrumentation de bord, les alarmes existantes associées à la vigilance de l'équipage et du contrôle, n'ont pas été efficaces.

On désigne les solutions utilisées sous le vocable de systèmes avertisseurs de proximité du sol. On distingue d'une part les équipements embarqués tels que APS, GPWS (voir § 118.22) et GCAS (voir § 118.23) et d'autre part les systèmes au sol et à usage des contrôleurs tel que le MSAW (voir § 118.24).

Ces systèmes automatiques ont pour but le déclenchement d'une alarme lorsqu'un avion se rapproche dangereusement du sol.

118.22 - Le GPWS (Ground Proximity Warning System)

118.221 - Le concept et son évolution

A la fin de la décennie 1960, un grand nombre d'avions de transport ont été équipés de radio-altimètres nécessaires aux approches de précision CAT II et CAT III.

Le radio-altimètre est un équipement embarqué autonome qui mesure la hauteur de l'avion par rapport au sol.

Ce capteur (radio-altimètre) permettait la liaison avec un calculateur d'alarme, qui à partir des informations radio-altimétriques de l'instant (hauteur instantanée du relief survolé) fournirait grâce à des enveloppes, une "prédiction" sur la future hauteur au-dessus du relief. Le concept du GPWS (ou APS, Avertisseur de Proximité du Sol) a été lancé par la compagnie scandinave SAS en 1969, et développé par bon nombre d'équipementiers qui pour des raisons multiples (et en particulier à cause du dépôt de brevet par Sundstrand) abandonnèrent. Seul le GPWS de Sundstrand perdura ce qui lui permit d'acquérir un monopole de fait.

En 1975, après l'accident d'un Boeing B727 à Washington, la flotte américaine entière a été équipée de GPWS suite au règlement FAR 121.360 de 1974. Selon des études américaines, et tout en tenant compte des difficultés inhérentes à ce type d'analyse effectuées a posteriori, une diminution du nombre d'accidents classifiés "vols pilotés contre le relief" pourrait être en partie attribuée au GPWS, et ce malgré ses défauts initiaux.

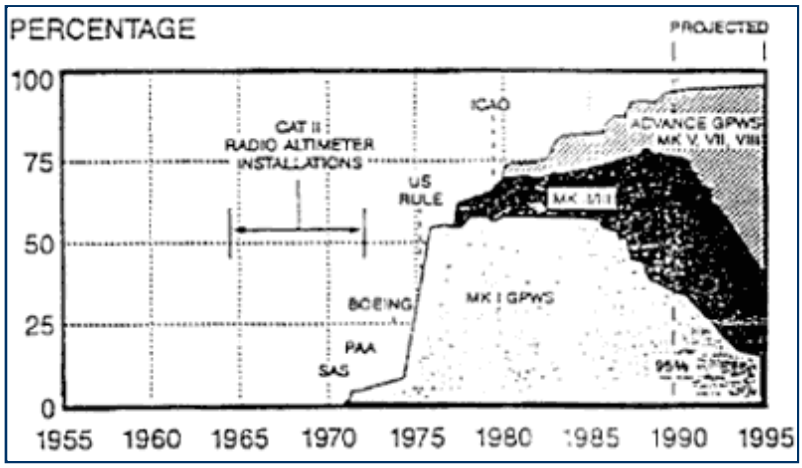
Plus précisément, durant les cinq années précédant 1975, les Etats-Unis ont connu une moyenne de 2,8 accidents de type CFIT par an. La période d'équipement de la flotte s'étend approximativement de mi-1974 à fin 1976. Le nombre d'accident de ce type chute alors nettement: 0 en 1975, 2 en 1976 et 1977, 1 en 1978, et zéro ensuite à l'exception des années 1985 (1) et 1989 (2).

Ces résultats de sécurité ont conduit en 1979 l'OACI à inclure dans ses normes l'emport d'un dispositif avertisseur de proximité de sol. L'annexe 6 relative à l'exploitation technique des aéronefs stipule en effet que lorsque "le certificat de navigabilité individuel original a été émis le 1er juillet 1979 ou après cette date, tous les avions à turbomachines dont la masse maximale au décollage certifiée dépasse 15 000 kg ou qui sont autorisés à transporter plus de 30 passagers seront dotés d'un dispositif avertisseur de proximité du sol". (Rappel : l'A320 entre dans cette catégorie d'appareils).

Lorsque le certificat de navigabilité individuel original a été émis avant le 1er juillet 1979, l'emport est seulement recommandé.

Les termes de l'annexe 6 de l'OACI précisent les caractéristiques générales auxquelles doit satisfaire le dispositif embarqué avertisseur de proximité du sol : il "devra pouvoir donner automatiquement en temps opportun à l'équipage de conduite un avertissement clair lorsque l'avion se trouve dans une situation qui peut être dangereuse du fait de la proximité de la surface terrestre".

Selon une étude de l'équipementier Sundstrand, à l'époque de l'accident du F-GGED, environ 95 % de la flotte mondiale répondant aux critères d'emport définis par l'OACI était équipée en GPWS.



World Airline Jet Fleet Equipped with GPWS (Source Sunstrand)

De janvier 1983 à avril 1991, le système confidentiel de collecte de rapports d'incidents ASRS (USA) a dénombré 64 rapports d'équipages ayant vécu une alerte GPWS. Dans au moins 35 cas, c'est l'alerte GPWS qui a permis d'éviter l'accident.

L'équipement a connu dans ses premières versions des problèmes d'alarmes trop tardives, ou au contraire des alarmes intempestives ou injustifiées qui conduisaient les équipages à se méfier des alarmes produites par cet équipement. L'un ou l'autre de ces facteurs n'a pas permis au GPWS de jouer pleinement son rôle de dernière protection lors d'accidents ou d'incidents avec des avions équipés.

Pour recrédibiliser les alarmes GPWS, Sundstrand a dû améliorer son produit. Par modification des enveloppes, reprogrammation des alarmes, adaptation aux nouvelles technologies, il a ainsi produit successivement les versions Mark I, Mark II et Mark VII (en analogique), Mark III et Mark V (en numérique). Des mesures d'adaptation des procédures du contrôle aérien aux exigences du GPWS ont aussi été prises aux Etats-Unis.

Des études en vol auraient montré, d'après l'équipementier, un temps moyen de réaction salvatrice des équipages de 5 à 6 secondes après le déclenchement de l'alarme, pour des équipements MKII et III, et des pilotes non entraînés sous simulateur à l'utilisation du GPWS.

118.222 - La situation en France

Une campagne d'essais de l'équipement avait été effectuée par le CEV (Centre d'Essais en Vol) en 1975. Cette campagne avait été menée sans tenter d'adapter les procédures pour réduire les alarmes intempestives. Compte tenu, entre autre des capacités de régression de vitesse en approche de l'avion utilisé (le Mercure), les alarmes non représentatives de situations dangereuses ont été nombreuses.

En conséquence, prenant en compte notamment le taux constaté d'alarmes non justifiées, l'administration française a considéré que le GPWS apportait un gain pour la sécurité beaucoup moins positif que ce que déclaraient ses promoteurs.

De plus, elle a jugé la politique commerciale de Sundstrand très agressive, et ne souhaitait pas rendre obligatoire un dispositif protégé par un brevet industriel, et pour lequel un constructeur détenait donc un monopole de fait.

C'est tout le sens de la lettre faite à l'OACI en 1977 qui précise que l'emport du GPWS devrait avoir "au plus le statut de pratique recommandée", et non pas de norme. L'OACI ayant néanmoins pris la décision d'inclure l'emport du GPWS dans ses normes, la France avait, en 1978, notifié une différence. A la suite d'une enquête postérieure de l'OACI concernant les différences nationales, la France a répondu, par erreur, que sa réglementation ne comportait pas de différence avec l'Annexe 6. De ce fait, la mention d'une différence française sur ce point a disparu de l'Annexe 6.

L'élaboration d'une réglementation opérationnelle européenne commune a débuté en 1990 au sein des JAA

(Joint Aviation Authorities). Les projets de textes prévoient l'obligation d'emport des GPWS à partir du 1er mars 1993.

A l'époque de l'accident, la réglementation française n'imposait pas le GPWS.

En date du 31 décembre 1991, environ 75 % des appareils exploités par des compagnies de transport françaises et répondant aux critères d'emport définis par l'OACI étaient équipés en GPWS.

La compagnie Air Inter était une des rares compagnies françaises à ne pas avoir de GPWS sur des avions tels que ceux visés par la norme OACI.

Le 16 décembre 1991, dans une lettre adressée à Air Inter et signée par le chef du Bureau Conduite de l'Aéronef, le SFACT s'étonnait que les A320 de cette compagnie ne soient pas équipés de GPWS et interrogeait cette compagnie sur la politique qu'elle adopterait en matière d'emport de GPWS sur A320 ainsi que sur les autres appareils de sa flotte : "(..) Une enquête récente vient de me confirmer qu'aucun de vos appareils n'est équipé de système de détection de proximité de sol (GPWS). Je partage le point de vue de l'Organisme de Contrôle en Vol qui s'inquiète de cette situation et regrette que vos AIRBUS A320, pourtant disposant en série des commandes et câblages nécessaires, n'en soient pas dotés. Enfin, bien que la réglementation, dans ses dispositions actuelles ne prévoit pas une obligation d'emport pour ces dispositifs, le GPWS dans ses dernières versions s'est avéré être un élément essentiel dans la prévention d'accidents. Je vous rappelle que l'OACI dans son annexe 6 le considère comme devant faire partie de l'équipement standard des avions lourds et que cette règle sera reprise dans les très prochains règlements JAA. Je vous serais reconnaissant de bien vouloir me faire connaître les motivations qui vous ont conduit à prendre cette décision et de m'exposer votre politique future, pour l'ensemble de votre flotte vis à vis de l'usage du GPWS (..)". Cette lettre n'avait pas encore reçu de réponse à la date de l'accident.

Air Inter avait procédé à des évaluations des performances des équipements GPWS disponibles dans les années 70. La compagnie avait participé aux essais effectués par le CEV en novembre 1975. Une évaluation de l'équipement avait été effectuée sur Mercure et sur A300, par des équipages et sur le réseau de la compagnie, en 1976 et 1977.

En raison des alarmes intempestives observées lors de ces évaluations sur les premières versions de GPWS, et compte tenu de l'absence d'obligation réglementaire, Air Inter avait choisi de ne pas en équiper sa flotte.

Cependant, suivant les évolutions techniques du GPWS, Air Inter se dotait à la fin des années 70 du prééquipement nécessaire, sur A300 et sur Mercure. Elle avait également retenu ce pré-équipement sur A320.

118.23 - Autre type d'équipement embarqué : le GCAS

Le GCAS (Ground Collision Avoidance System) a été développé dans les années 80, pour des applications militaires.

Son principe de fonctionnement repose d'une part sur l'exploitation d'informations relatives au relief (base de données) et à la position de l'avion, et d'autre part sur une prédiction de la trajectoire de l'avion.

Depuis 1992, un projet d'application de ce système aux avions civils est en cours de développement.

118.24 - Le MSAW (Minimum Safe Altitude Warning)

En France, à la date de l'accident, la responsabilité de l'anticollision avec le relief n'incombait pas aux organismes de contrôle au sol. Cependant, devant la gravité de ce problème, les services de la navigation aérienne ont recherché s'ils ne pouvaient pas offrir aux usagers aériens une assistance préventive en cas de danger sous la forme d'une information de vol, à titre de service radar, sans modifier l'attribution respective des responsabilités.

De ce souci est né le concept de MSAW (Minimum Safe Altitude Warning) développé tout d'abord par la F.A.A. (Federal Aviation Administration des Etats-Unis), en mesure complémentaire au GPWS. Le concept a été repris par la France où un système semblable est en cours d'étude.

Le principe est le suivant :

Le système de traitement radar "en-route" connaît la position, le niveau de vol, la vitesse horizontale et la vitesse verticale de chaque avion en contact radar et équipé d'un transpondeur "mode C".

Ce système est donc en mesure de déterminer la position d'un appareil par rapport au relief qu'il survole ou vers lequel il se dirige à condition qu'il ait en mémoire la topographie de ce relief. Le même processus pourrait être utilisé pour positionner les avions par rapport aux zones à statut particulier.

Décrire le contour volumique des zones ne présente aucune difficulté. En ce qui concerne la modélisation du relief, l'Institut Géographique National dispose d'une base de données numérisées du relief qui remplit les conditions requises. Elle est la source à partir de laquelle le système peut construire sa base de données géographiques internes.

Le système de surveillance détermine à chaque renouvellement de l'information radar, le domaine d'évolution de chaque appareil afin de vérifier, sur des critères prédéfinis ou prévisionnels, s'il ne se mettra pas en danger à brève échéance.

L'efficacité du système repose essentiellement sur une prédiction fiable et suffisamment anticipée de la trajectoire de l'avion. Il faut en effet éviter de générer des alarmes non justifiées qui décrédibiliseraient le système, tout en adoptant des marges de sécurité suffisantes qui permettent à l'équipage de réagir à temps.

La Direction de la Navigation Aérienne a déjà pu vérifier en 1991 que le MSAW pouvait apporter une aide au contrôleur dans le domaine de la surveillance des zones à statut particulier.

Elle poursuit cette action et fait une évaluation approfondie du logiciel afin de vérifier si une fonction de surveillance de cette nature est utilisable dans le contexte opérationnel actuel, notamment aux abords d'un aérodrome ou dans les évolutions à basse hauteur.

Elle s'attache aussi à améliorer la couverture radar, les performances du système de traitement radar, le mode de présentation et la distribution des informations sur les positions de contrôle.

118.3 - La radiobalise de détresse

118.31 - Généralités

Le F-GGED était équipé d'une radiobalise de détresse fonctionnant automatiquement à l'impact (RBDA).

Cette balise de détresse de type Jolliett JE2 était positionnée sur la cloison arrière du poste de pilotage à la partie supérieure du vestiaire.

La balise de détresse n'a pas fonctionné. Elle a été retrouvée dans les décombres, sous la partie avant de l'appareil, écrasée et éventrée, le boîtier s'étant désolidarisé de l'antenne.

118.32 - Aspects réglementaires

118.321 - Obligation d'emport et homologation

L'Annexe 6 de l'OACI (exploitation technique des aéronefs), ne comporte, en ce qui concerne l'aviation de transport commerciale internationale, aucune norme ou recommandation sur l'emport d'une radiobalise de détresse à déclenchement automatique à l'impact (RBDA). L'emport de cet équipement n'est recommandé que pour les vols internationaux d'aviation générale et pour les vols internationaux d'hélicoptères. L'annexe 10 (Télécommunications aéronautiques) définit les spécifications techniques de ces équipements (fréquence, puissance et signal auditif) mais ne comporte aucune disposition sur leur emplacement et leur résistance aux chocs et au feu.

En ce qui concerne la réglementation française, l'arrêté du 28 août 1978 rend obligatoire pour tous les aéronefs de la circulation aérienne générale (notamment donc pour les aéronefs de transport public) l'emport

d'une radiobalise de détresse à déclenchement automatique à l'impact (RBDA). Cet équipement doit répondre aux normes et spécifications en vigueur dans les Annexes 6 et 10 à la Convention de Chicago et doit être de type homologué. Cette homologation est donnée par le Ministre chargé de l'aviation civile (STNA) par référence à des normes internationales approuvées (EUROCAE, RTCA ou FAA).

Deux directives complémentaires en date du 27 juillet 1979 et du 2 janvier 1980 stipulent qu'en matière de montage l'utilisateur a le libre choix entre une RBDA fixe avec antenne extérieure ou une RBDA portable avec antenne intérieure disposée devant un hublot ou une vitre du poste de pilotage. En outre, l'arrêté du 5 novembre 1987 relatif aux conditions d'utilisation des avions exploités par une entreprise de transport aérien dispense de l'emport de RBDA les avions de masse maximale certifiée au décollage supérieure à 20 000 kilos et dotés en permanence d'au moins deux balises de survie homologuées pour un vol au dessus de l'eau, ou d'une balise pour un vol au dessus de régions terrestres désignées.

118.322 - Certification de l'installation à bord de l'avion

La réglementation applicable en France pour la certification de l'installation à bord d'aéronefs d'équipements radioélectriques concerne à la fois les règlements de navigabilité de base (comme par exemple la norme AIR 2051, la FAR 25 ou depuis peu le JAR 25) et des règles spécifiques contenues dans un document édité par le STNA et appelé les "CGCE" (pour "Conditions Générales à satisfaire pour la délivrance du Certificat d'Exploitation").

En ce qui concerne les règlements de navigabilité de base, le SFACT/Bureau Certification écrivait le 8 mars 1979 et diffusait très largement par l'intermédiaire de la Documentation du Bureau Véritas que les seules règles à respecter en matière de navigabilité pour l'installation de la RBDA "consistent à s'assurer que l'aéronef ainsi équipé continue à répondre aux conditions de certification de navigabilité applicable"... et que par ailleurs "l'état de non fonctionnement de la RBDA, pour quelque cause que ce soit, ne constitue pas un cas d'inaptitude au vol en application de l'arrêté du 17 mars 1978 relatif au maintien de l'aptitude au vol des aéronefs.

En ce qui concerne les règles spécifiques, le document CGCE du STNA (complément aux CGCE diffusé le 11 décembre 1978 et modifié le 13 mai 1980) précise que, pour satisfaire l'arrêté de 1978, les aéronefs doivent être équipés d'une RBDA soit de type "fixe automatique" soit de type "portatif automatique". Les RBDA de type portatif automatique peuvent être montées sans antenne fixées à demeure à l'extérieur de l'aéronef et l'installation doit être réalisée de façon à ce qu'elle soit très aisément accessible aux survivants et qu'elle soit aisément démontable sans outillage ; ce démontage doit prévoir la dépose du boîtier et la déconnexion du coaxial d'antenne lorsqu'il existe. C'est seulement pour le cas des RBDA de type "fixe automatique" que les CGCE prévoient que celles-ci doivent être implantées, dans toute la mesure du possible, dans la zone arrière de l'aéronef, éventuellement dans la partie inférieure de la dérive.

118.33 - Equipement du F-GGED

118.331 - Matériel installé

La compagnie Air Inter a choisi d'équiper ses appareils en RBDA JOLLIETT JE2. Cette balise émet sur les fréquences 121.5 Mhz et 243 Mhz. Elle peut être mise en fonctionnement, soit automatiquement sous l'effet d'un choc, soit manuellement à l'aide d'un interrupteur.

La balise JOLLIETT JE2 a été homologuée par décision ministérielle N°20919 STNA du 26 octobre 1978 par référence aux normes TSO 91 et RCTA DO 147. Des essais effectués après l'accident du F-GGED ont montré que les caractéristiques de cet équipement étaient bien conformes à ses normes d'homologation.

118.332 - Certification de l'installation

Sur tous les A320 d'Air Inter, la balise et son support sont installés dans le plafond du vestiaire équipage dans la partie annexe gauche du cockpit. Les commandes en sont directement accessibles par le personnel navigant technique. Un coaxial d'une longueur d'environ 1,5 m part de la balise vers la glace latérale arrière gauche. Les derniers 60 cm du coaxial sont dénudés et fixés verticalement sur la glace sans tresse de masse, pour constituer l'antenne. L'interrupteur accéléromètrique de cette balise, dont l'axe coïncide à +- 15° avec

l'axe de l'avion, met automatiquement en fonctionnement la RBDA sous l'action d'un impact sur l'avion supérieur à 5g, de l'avant vers l'arrière selon l'axe longitudinal. La localisation de la RBDA et les conditions de mise en oeuvre ne sont pas visibles par les passagers.

Cette installation est décrite dans le dossier de modification n°20243 présenté par AIRBUS INDUSTRIE le 15 février 1988. Cette modification 20243 a été approuvée par le Bureau Véritas le 26 mars 1988 après avis du STNA.

Le dossier ne comporte pas de résultats d'essais sur la puissance rayonnée et sur l'omni-directionnalité du rayonnement dans le plan horizontal. De tels essais ne sont pas requis au titre de la certification de l'équipement. Seul un contrôle qualitatif de l'émission (présence d'un champ rayonné) est demandé, et il a été effectué.

118.34 - Essais concernant la RBDA

La RBDA dont était équipé le F-GGED a été détruite à l'impact et il a fallu plus de quatre heures pour retrouver l'épave de cet appareil alors qu'il y avait des survivants. La commission d'enquête a souhaité savoir dans le cas où la balise de détresse aurait fonctionné, si l'épave de l'avion aurait pu être découverte plus rapidement grâce aux indications, du système satellitaire SARSAT, des avions en vol et des radio-amateurs.

Une expérimentation a donc eu lieu le 9 avril 1992 à 18h20 UTC pour tenir compte d'une configuration satellitaire et d'une disponibilité des radio-amateurs sensiblement similaires à celles du jour de l'accident. La balise était située sur le Mont Saint-Odile à environ 300 mètres du lieu du crash, en forêt. Tous les organismes ont joué leur rôle normal dans une alerte mais aucun plan Sater n'a été déclenché. Le ciel était clair. Dans ces conditions, il a fallu un peu moins de trois heures pour retrouver la balise.

La commission d'enquête est consciente que le choix du site, le non déclenchement du plan SATER, et la non utilisation d'hélicoptères pour dégrossir la zone de recherche ont pu polluer le réalisme de cette simulation. En l'état des résultats qui lui ont été présentés, la commission n'a toutefois pas estimé pouvoir en tirer des enseignements concluants.

118.4 - Evolutions réglementaires en ce qui concerne les enregistreurs DFDR et CVR

118.41 - Protection.

Les types d'enregistreurs LORAL-FAIRCHILD (DFDR et CVR) qui équipaient le F-GGED sont d'une génération identique. Ces deux enregistreurs protégés font l'objet de principes de protection à l'impact, au feu et aux agressions chimiques identiques. Leurs boîtiers de protection sont physiquement identiques.

Les exigences de qualification officielle applicables à cette génération d'enregistreurs (TS0-C84 du 2 septembre 1964 pour le CVR, TSO-C51-A du 5 février 1966 pour le DFDR) spécifient notamment que, pour la résistance au feu, l'enregistreur doit être exposé au cours des essais à une flamme de 1100°C enveloppant au moins 50 % de la surface extérieure de l'enregistreur pendant une durée continue de 30 mn. Après une série de tests représentatifs d'accident, le contenu du support d'enregistrement protégé doit pouvoir être lu. En exploitation normale, la température maximale prévue est de 55°C.

Les nouveaux règlements faisant référence aux documents EUROCAE ED 55 (pour les DFDR) et ED 56 (pour les CVR, en cours de mise à jour en ED56A) modifient les exigences de l'essai d'accident en portant, pour ce qui est du feu, la surface d'exposition à la flamme à la totalité de l'enregistreur. Le flux thermique est quantifié. La durée de l'essai est maintenue à une demi-heure. Il est à noter que ces tests ne prévoient pas l'exposition aux foyers de basse intensité pendant une durée prolongée.

Les modèles Fairchild F800 et A100 qui équipaient le F-GGED satisfont les tests de résistance au feu des nouveaux TSO américains 123 et 124, adaptations des normes EUROCAE ED 55 et ED 56.

Le National Transportation Safety Board (NTSB) a émis le 28 mai 1992 une recommandation envers la Federal Aviation Administration (FAA) pour qu'elle annule les vieux TSO C84 et C51-A, qu'elle mène des études pour améliorer les normes de protection au feu des TS0 123 et 124, puis annule ces derniers TSO

devenus obsolètes.

Les attendus de la recommandation américaine notent que les normes anciennes ou récentes ne tiennent pas compte du feu de longue durée à basse intensité. Une étude des cas connus de destruction d'enregistreurs par le feu depuis 1966 est faite. Il en ressort que 90 enregistreurs ont souffert du feu, dont:

- 14 sur 45, certifiés aux TSO C 84 ou C 51-A, jusqu'à la destruction de la bande,
- 4 sur 45, connus du NTSB comme satisfaisant aux tests des nouveaux TSO, jusqu'à la destruction de la bande.

Remarque : les enregistrements tels que le QAR (Quick Access Recorder), et les mémoires non volatiles dont sont dotés certains calculateurs, ont vocation d'aide à la maintenance et à l'analyse des vols. Ils ne sont pas destinés aux enquêtes après accident et ne sont donc pas soumis à des exigences de protection spécifiques.

118.42 Informations enregistrées

118.421 - Le CVR

Le CVR enregistre les communications entre les membres d'équipage, entre le poste de conduite et la cabine ou le contrôle aérien, enfin l'ambiance sonore générale du poste.

L'expérience acquise montre que l'enregistrement correspondant à cette ambiance générale est parfois insuffisant pour comprendre les conversations échangées entre les membres d'équipage, du fait même du caractère "généraliste" du microphone utilisé qui est nécessaire pour saisir tous les bruits du poste de pilotage. En revanche, les enregistrements des conversations sont d'une bonne qualité sur les pistes dédiées à cet effet.

Afin d'améliorer la sécurité collective par la compréhension de tous les aspects humains lors d'un accident ou d'un incident, ainsi que la sécurité du vol par des communications claires, le concept de microphone permanent (hot mike) a donc été développé. Il a été intégré dans la norme EUROCAE ED 56 et repose sur l'enregistrement de toutes les conversations sur les pistes et par les microphones dédiés.

L'utilisation par les équipages du microphone permanent, dans certaines phases de vol, est réglementaire dans certains Etats tels que les USA et le Royaume Uni. La France, en revanche, ne l'a pas intégrée dans son dispositif réglementaire.

118.422- Les paramètres du DFDR

La réglementation française actuelle exige, pour les avions de transport public, l'enregistrement de 25 paramètres au minimum.

Lors des travaux de certification de l'A320, l'enregistrement d'un nombre beaucoup plus important de paramètres (deux cents treize) a été prévu pour cet avion.

Les innovations concernant certains systèmes de commandes de vol ont conduit à ce que beaucoup de paramètres s'y référant soient pris en compte.

Par contre on constate qu'excepté pour les moteurs, les valeurs cibles de pilotage sélectionnées par l'équipage et nombre de modes de pilotage automatique ou de gestion automatique du vol ne sont pas enregistrés.

La norme récente EUROCAE ED 55 demande pour les avions soumis à la certification JAR 25 "une combinaison adaptée de discrets" donnant les "positions pilote automatique, auto-manette, mode CADV et enclenchement". Il est aussi précisé que "les discrets doivent montrer quels systèmes sont embrayés et quels modes primaires sont utilisés pour le contrôle de la trajectoire et de la vitesse de l'aéronef".

Des discrets sont demandés pour les alarmes : "un discret doit être enregistré pour l'alarme générale. Chaque alarme "rouge" (y compris la fumée dans les toilettes) doit être enregistrée si les raisons de la mise en garde

ne peuvent pas être déterminées à partir d'autres paramètres ou de l'enregistreur de cabine".

En outre doivent être évaluées certaines particularités de l'avion considéré, pouvant donner lieu à enregistrement de paramètres. Sont ainsi listées les valeurs cibles sélectionnées par l'équipage, les affichages barométriques, les formats d'affichage choisis (pour les deux membres d'équipage), les distances mesurées par les DME, l'état du viseur tête haute, etc.

En pratique, les travaux de certification, ou de mise à niveau réglementaire pour les avions déjà certifiés, déterminent l'application de cette nouvelle norme suivant le type d'avion.

118.5 - Coordination des enquêtes administrative et judiciaire

118.51 - Généralités

En France, lors de tout accident d'avion, deux procédures sont en général lancées, l'une judiciaire et l'autre administrative. La première a pour objet d'identifier des responsabilités et éventuellement des fautes au plan pénal et au plan civil. Elle prend dans un premier temps la forme d'une information ou d'une instruction judiciaire. La seconde a pour objet d'étudier les circonstances de l'accident, d'en dégager les causes et d'en tirer les enseignements pertinents pour améliorer la sécurité du transport aérien. Elle est dans les premières heures menées par les enquêteurs du Bureau Enquêtes-Accidents de l'Inspection Générale de l'Aviation Civile et de la Météorologie. Elle est ensuite poursuivie pour les accidents majeurs par une commission d'enquête instituée par le Ministre chargé de l'Aviation Civile.

Ces deux procédures, dont les finalités sont différentes, ont besoin, chacune pour ce qui la concerne, d'utiliser un ensemble de matériaux de base, notamment les bandes d'enregistrement des paramètres de vol et des communications échangées dans le poste de pilotage. Leur coordination a été organisée par l'Instruction interministérielle du 3 janvier 1953 relative à la coordination de l'information judiciaire et de l'enquête technique et administrative en cas d'accident survenu à un aéronef. Elle a été complétée par une lettre du 10 juillet 1989 aux procureurs généraux qui précise que "les boîtes noires devront, avec l'accord du magistrat saisi, êtres remises (aux enquêteurs de l'aviation civile) dans les plus brefs délais et contre décharge".

En outre, compte tenu des polémiques qui s'étaient ouvertes après l'accident de Mulhouse-Habsheim au sujet des enregistreurs, les autorités administratives et judiciaires étaient particulièrement conscientes, dans le cas de l'accident du Mont Sainte-Odile, de l'extrême importance d'une exécution tout à fait rigoureuse des premiers actes à effectuer sur le site.

118.52 - Coordination des enquêtes sur l'accident du F-GGED

118.521 - Premières dispositions prises sur les plans administratif et judiciaire

Prévenu à 22h30 qu'il était saisi d'une information pour recherche des causes de la mort à la suite de l'accident du F-GGED, le juge est arrivé sur les lieux de l'accident vers 23h30 le mardi 21 janvier avec le Procureur de la République près le Tribunal de Grande Instance de COLMAR. Dès Oh45, il a désigné et fait prévenir deux experts judiciaires.

Sur le plan de l'enquête administrative, les deux premiers enquêteurs du Bureau Enquêtes-Accidents sont arrivés par avion à Strasbourg vers 21h50 et sur les lieux de l'accident vers 0h15 le mardi 21 janvier.

118.522 - Découverte et dispositions prises pour les enregistreurs

Les enregistreurs de vol (DFDR et CVR) ont été localisés à 0h46 dans la partie arrière de l'épave. Ces deux équipements, superposés et brûlants, étaient en partie recouverts de cendres. Leur prélèvement immédiat était difficile du fait de leur température et de la présence d'un arbre incandescent abattu en travers de l'épave.

Après photographie des lieux par une équipe de gendarmes, ce prélèvement a été effectué à 1h30 et les deux équipements ont été descendus à la Brigade de BARR où ils ont été placés sous scellés. Ils ont été ensuite convoyés en présence du juge vers les laboratoires d'analyse du CEV et du BEA, où il a été procédé dans la journée du mardi 21 janvier à leur ouverture et à une première écoute du CVR en présence du juge et de ses

experts.

L'enregistreur de paramètres QAR a été quant à lui découvert le 21 janvier à 9h30 et a été convoyé par un gendarme au CEV où il est arrivé le soir même à 22h30.

118.523 - Suite des investigations sur le site

Les investigations sur le site ont ensuite été menées par les enquêteurs du Bureau Enquêtes-Accidents en présence, selon les cas, du juge et de ses experts ou des gendarmes. Elles ont été marquées par un grand souci de rigueur dans les actes judiciaires effectués.

Ce souci de rigueur a cependant dû être assoupli par le juge à plusieurs reprises en fonction des problèmes rencontrés sur le site. La lourdeur des procédures appliquées pouvait en effet dans certains cas empêcher les enquêteurs du BEA de pratiquer de façon efficace la collecte et le rassemblement d'éléments importants pour la suite de l'enquête.

D'autre part, compte tenu du nombre, de la complexité et de la dispersion géographique des opérations engagées, celles-ci ne pouvaient manifestement pas toutes être suivies par le juge et ses experts sans risquer de nuire à la préservation d'indices essentiels.

118.524 - Coordination entre les deux enquêtes

Le juge et le Président de la commission d'enquête se sont rencontrés régulièrement pour fixer les modalités de la coordination des deux enquêtes, régler certains problèmes concernant l'accès aux indices ou la conduite des expertises et faire le point de l'avancement des deux procédures.

118.6 - Le retour d'expérience.

118.61 - Organisation générale

118.611 - L'organisation générale du retour d'expérience, c'est à dire la prise en compte des défaillances constatées dans la pratique quotidienne et concernant les principes de sécurité du système de transport aérien, s'articule autour de deux concepts-clés: le concept d'accident et celui d'incident.

L'annexe 13 de l'OACI donne une définition de l'accident fondée sur un seuil de dommages corporels ou matériels, ou la disparition de l'aéronef. Elle donne de l'incident la définition suivante: "un événement, autre qu'un accident, lié à l'exploitation d'un aéronef, et qui compromet ou pourrait compromettre la sécurité de cette exploitation". Une note renvoit par ailleurs au Manuel de Notification des Accidents et Incidents (Doc 9156) qui contient une liste d'incidents considérés par l'OACI comme d'un intérêt particulier pour la prévention des accidents. Enfin un projet d'amendement de l'Annexe 13 consécutif à la réunion AIG/92 prévoit d'ajouter la définition suivante: "incident grave: incident dont les circonstances indiquent qu'un accident a failli se produire".

118.612 - Les dispositions précédentes concernent de fait une première catégorie d'événements qui correspond en gros au champ d'investigation des structures permanentes d'enquête sur les accidents et les incidents. Cet ensemble d'événements ne résume cependant pas, tant s'en faut, le flux total d'informations qui alimente le retour d'expérience dans l'aviation civile. Une deuxième catégorie d'événements, qui représente un volume global considérablement plus élevé, est en effet traitée dans le cadre du suivi d'exploitation et de la navigabilité continue entre les exploitants, les constructeurs, et leurs autorités de tutelle technique.

118.613 - Au niveau de l'OACI les dispositions réglementaires concernant le retour d'expérience relatif au suivi de navigabilité sont contenues dans l'Annexe 8, § 4.2.4, qui stipule:

"en ce qui concerne les aéronefs de masse maximale certifiée au décollage supérieure à 5700 Kg, l'Etat d'immatriculation fera en sorte qu'il existe un système permettant de transmettre à l'organisme responsable de la conception de type de cet aéronef des renseignements sur les défauts, anomalies de fonctionnement, défectuosités et autres cas qui ont ou qui pourraient avoir un effet défavorable sur le maintien de la navigabilité de cet aéronef."

Ces dispositions prévoient en résumé que l'Etat d'immatriculation s'assure de l'existence d'un système d'information en direction du constructeur.

Des éléments indicatifs sur la notion de "défauts, anomalies de fonctionnement, défectuosités et autres cas" figurent dans la 2° partie, Section 1, Chapitre 3 du Manuel Technique de Navigabilité" (Doc 9051).

Certains Etats ont établi des systèmes obligatoires pour la communication à l'autorité de navigabilité de renseignements similaires.

118.614 - En ce qui concerne les exploitants, la réglementation OACI (Annexe 6) ne prévoit aucune obligation de notification des incidents, qu'ils relèvent de la navigabilité ou de l'exploitation.

118.62 - Organisation de la réglementation française

118.621 - En matière de notification et de rapport d'incident, le Code de l'Aviation Civile comprend les deux dispositions suivantes:

- l'article R.142-2 (Livre I "Aéronefs", titre IV "Dommages et Responsabilités") établit pour le commandant de bord une obligation de déclaration concernant tout incident "affectant ou pouvant affecter la sécurité d'un aéronef". Cette déclaration d'incident doit être adressée soit au commandant d'aérodrome le plus proche, soit au centre de contrôle régional avec lequel le vol était en liaison;

- l'article R.425-1 (Livre IV "Personnel Navigant", Titre II "Professionnel", au chapitre "Discipline") établit, pour les aéronefs de transport et de travail aérien, une obligation de rapport circonstancié sous 48h par le commandant de bord sur tout incident pouvant avoir des conséquences graves ou toute infraction aux règlements de la circulation aérienne et aux règlements opérationnels. Ce rapport doit être adressé à la direction de l'entreprise, qui le transmet au Bureau Enquêtes Accidents, qui en assure la diffusion aux services intéressés.

118.622 - Pour ce qui est des aéronefs de transport public, l'arrêté du 5 novembre 1987 (chapitre 12) établit pour l'exploitant une obligation d'informer le ministre chargé de l'aviation civile de tout incident, panne ou défaut de nature à mettre en cause la navigabilité de l'avion, ou dont la connaissance présente un intérêt pour l'amélioration de la sécurité au niveau de la conception, de l'utilisation et de l'entretien de l'avion.

Les comptes rendus doivent être adressés sous un délai d'un mois au Bureau Enquêtes Accidents. Le support de transmission peut être soit un rapport technique interne, soit un formulaire spécifique établi par le constructeur ou l'exploitant, soit des formulaires établis par la DGAC, dits Constat d'événements en Exploitation (CEE) et Constat d'Intervention sur le Matériel (CIM), et qui portent les références du SFACT.

Ce même texte recommande aux exploitants de tenir informés les constructeurs de tous les incidents dont la transmission est exigée.

118.623 - Enfin dans son annexe relative aux conditions associées à l'autorisation d'exploiter un avion de plus de quarante tonnes en équipage sans mécanicien navigant, ce texte stipule:

" L'exploitant adoptera un système d'analyse des vols basé sur l'exploitation systématique des documents de bord et/ou des enregistrements de paramètres en vol. Cette analyse sera conduite d'une manière anonyme et utilisée de façon à assurer le respect des droits des personnes concernées et à interdire toute utilisation répressive.

L'exploitant transmettra à la première date anniversaire de l'autorisation, un rapport de synthèse sur l'exploitation des avions couverts par l'autorisation, notamment les résultats généraux de l'analyse des vols et les enseignements tirés."

118.624 - Par ailleurs la réglementation française dans ce domaine comprend l'Instruction IGAC/300 du 3 juin 1957 "concernant les dispositions à prendre en cas d'irrégularité, d'incident ou d'accident d'aviation". Cette instruction définit deux types d'événements qui font intersection avec le concept d'incident tel que défini dans

l'annexe 13 de l'OACI: les "irrégularités d'exploitation" (définies comme l'un des événements suivants: retard au départ de plus de deux heures, demi-tour en vol, atterrissage sur un aérodrome non prévu au plan de vol), et les "incidents" (définis comme "toute infraction aux règlements de la circulation aérienne, aux règlements opérationnels, ou tout événement ayant fait courir un risque aux personnes et au matériel, même s'il n'a pas entraîné d'irrégularité d'exploitation").

Vis à vis de ces événements, cette instruction établit les obligations suivantes:

- à un exploitant de transport public, de notifier les "irrégularités d'exploitation" et d'en établir un relevé trimestriel adressé à l'Inspection Générale de l'Aviation Civile, au SFACT, et à la Direction de la Navigation Aérienne;

- au commandant de bord, à un membre d'équipage, ou un représentant du propriétaire ou de l'exploitant, de déclarer tout "incident" au contrôle local d'aérodrome ou à l'autorité locale civile ou militaire. Cette obligation est à rapprocher de celle établie par l'article R.142-02 du Code de l'Aviation Civile;

- au commandant de bord d'un aéronef de transport ou de travail aérien d'établir un rapport circonstancié sous 48h sur tout incident pouvant avoir des conséquences graves ou toute infraction aux règlements de la circulation aérienne et aux règlements opérationnels". Ce rapport doit être adressé à la direction de l'entreprise, qui la transmet au Bureau Enquêtes Accidents, qui en assure la diffusion aux services intéressés. Cette obligation est identique à celle établie par l'article R.425-1 du Code de l'Aviation Civile.

118.625 - Enfin l'arrêté du 11 juillet 1962 relatif à l'organisation et aux attributions du Bureau Enquêtes Accidents prévoit dans son article 8 que le Bureau Enquêtes Accidents et les directions et services de l'administration centrale de l'aviation civile se communiquent toutes les informations qu'ils reçoivent concernant les incidents et irrégularités d'emploi survenus aux aéronefs civils.

118.63 - Fonctionnement pratique

Dans la pratique les différents intervenants ne s'en tiennent pas aux strictes dispositions réglementaires. En particulier, bien qu'aucune exigence réglementaire n'existe à cet égard, les exploitants rendent généralement le SFACT destinataire des comptes rendus d'incidents qu'ils envoient au Bureau Enquêtes Accidents, et informent également les constructeurs. Cependant un grand nombre de documents véhiculant des informations techniques ou opérationnelles ne sont vus ni par le SFACT ni par le BEA. Il en va ainsi de documents tels que les TFU (Technical Follow Up).

Au delà de l'aspect réglementaire, les constructeurs en général et Airbus Industrie en particulier ont mis en place leur propre système de recueil et de traitement des incidents en service.

Pour le système mis en place par Airbus Industrie, l'information provient, de ses représentants, détachés chez les compagnies utilisatrices, des compagnies elles mêmes, des systèmes mis en place par les organisations de tutelle des compagnies dans les différents états, ou encore d'autres moyens moins formels.

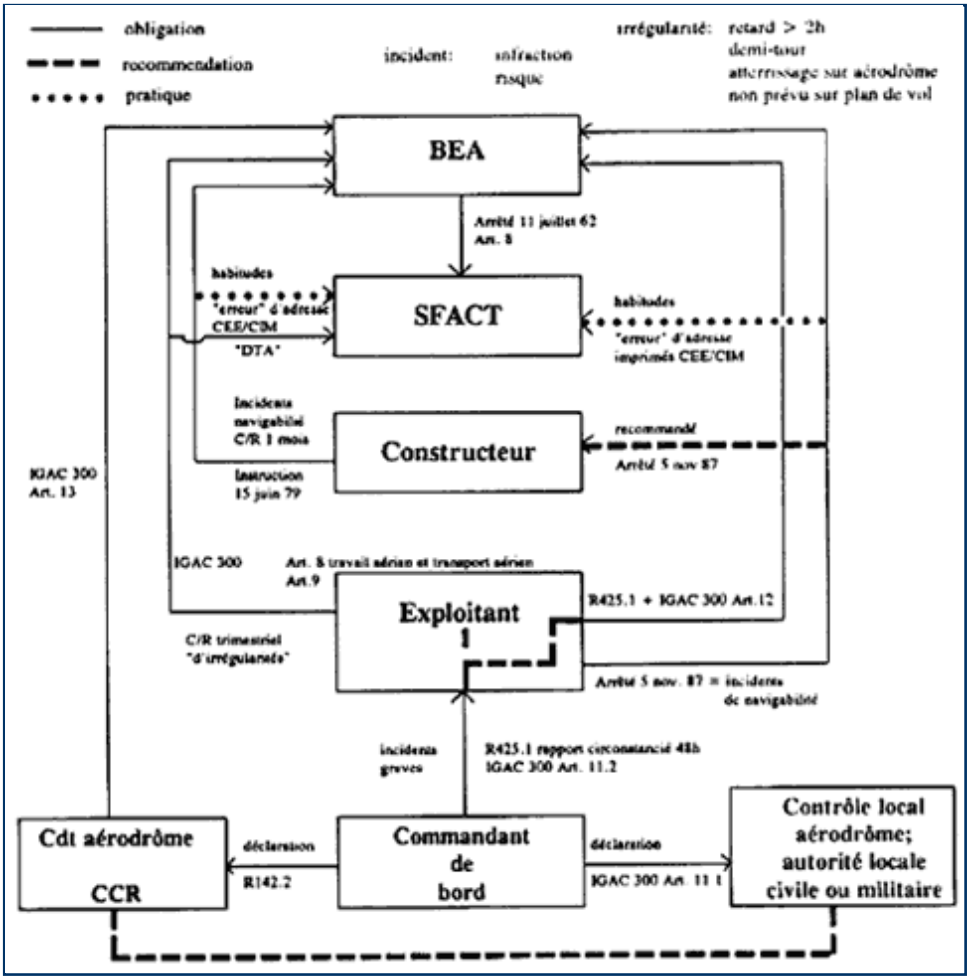
Tout incident est analysé par les bureaux d'étude responsables de la conception des systèmes affectés ou à l'origine de l'incident. Cette étude est menée en contact avec le ou les utilisateurs concernés et en recherchant éventuellement des informations complémentaires à partir, par exemple des enregistrements disponibles.

Suivants les résultats de cette analyse, différentes mesures pourront être prises: modification des procédures ou programme d'entretien, inspection de la flotte concernée, lancement d'une étude de modification de l'avion, modification de procédures opérationnelles, consigne temporaire, information des personnels concernés, évolution des programmes d'instruction.

L'information de l'utilisateur concerné, mais également de toutes les compagnies utilisatrices, sera faite via différents documents spécifiques, ou par modifications temporaires ou définitives des documents, approuvés ou non (FCOM, programme d'entretien...). Par ailleurs, des réunions symposiums réunissant toutes les compagnies utilisatrices concourent également à la circulation de l'information.

Enfin, lorsque le constructeur est informé d'un incident, Airbus tient son autorité de tutelle (la DGAC) informée. Les événements sont revus entre le constructeur et l'autorité de tutelle lors des "Airworthiness Review Meetings". Suite à ces réunions, la DGAC décide, ou non, de renforcer les actions correctives du constructeur par le biais de l'émission d'une consigne de navigabilité.

Réglementation française



CHAPITRE 1.19 - TECHNIQUES PARTICULIERES D'ENQUETE.

119.1 - Introduction

L'objet de ce chapitre est d'exposer de nouvelles techniques d'investigation sur les accidents d'aviation qui ont été mises en oeuvre à l'occasion de cette enquête:

- La lecture optique "par grenat" d'une bande magnétique a permis d'exploiter certaines zones de la bande magnétique du QAR, alors que les techniques traditionnelles s'avéraient inefficaces (voir § 1.19.1).

- L'analyse génétique a été l'un des moyens d'identification des victimes de l'accident (voir § 1.19.2).

119.2 - Lecture optique par grenat

119.21- Objectifs

L'objectif dans le cas de l'accident du F-GGED consistait à essayer de dépouiller les dernières secondes qui avaient été enregistrées sur la bande QAR et que les dommages causés par l'incendie avaient rendues

impossibles à relire à l'aide d'un enregistreur classique. Trois morceaux de bande de quelques centimètres de longueur ont été expertisés.

A cette fin, il a été fait appel à une technique développée par la société Schlumberger Industries, la lecture de bande magnétique par grenat.

Cette technique permet de visualiser simultanément un grand nombre de pistes sur la bande. De plus, c'est la seule méthode non destructive pour l'enregistrement, à l'inverse d'autres procédés comme les ferro-fluides.

119.22 - Préparation des morceaux de bande à expertiser

Chaque morceau de bande détérioré a été défroissé dans la mesure du possible afin d'en exploiter une plus grande partie. Pour cela, la méthode retenue a été de fixer avec du ruban adhésif la dorsale de la bande sur du papier millimétré en la défroissant délicatement au moyen de bâtonnets en bois. La bande se trouvait ainsi sur un support plus aisément manipulable. De plus, on obtenait un meilleur contact avec le grenat et, donc, une meilleure visualisation des informations.

Une loupe binoculaire et un outillage permettant de plaquer au moyen d'un feutre le morceau de bande endommagé contre le grenat ont été utilisés. Le faible grossissement de cet équipement offre la possibilité de visualiser simultanément toute la largeur de bande (1/2 pouce).

119.23 - Vérifications préalables

La détermination de la piste de l'accident a été effectuée sur un échantillon de bande "simulé", puis sur le morceau de bande du QAR enregistré avant l'accident.

En observant la bande de la bobine débitrice lors de l'accident, il a été constaté l'absence de la piste 10. En revanche, la bobine réceptrice contenait la piste 10 enregistrée.

Cette première expérimentation a permis de vérifier que la piste 10, correspondant sur ce morceau de bande aux dernières secondes de vol, était visualisable et exploitable au moyen du procédé.

119.24 - Prises de vue de la piste à dépouiller

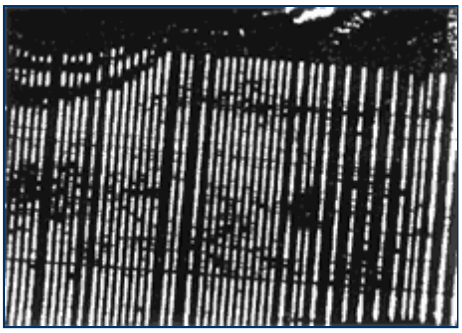
L'outillage utilisé possédait une fenêtre d'observation de 2 mm de large. La partie optique du banc de contrôle de format a été munie d'un grossissement adapté pour visualiser une seule piste à la fois ainsi que d'un appareil photo 24x36 ; ceci a permis d'effectuer les photographies de la piste 10.

La vitesse de défilement sur le QAR PC 6033-3-55 est de 1,18 cm/s et le rythme d'enregistrement est de 768 bits/s. Avec la procédure choisie, une seconde d'enregistrement correspond à 36 prises de vue avec un recouvrement d'au moins 30% entre chaque photographie pour garantir un dépouillement correct.

119.25 - Principe de la lecture optique par grenat

Les grenats sont des silicates doubles de différents métaux. Ils possèdent des propriétés magnétiques et optiques. Leur structure naturelle en domaines magnétiques est très sensible à un champ magnétique extérieur. De plus, ces domaines, possédant une aimantation alternativement opposée, peuvent être observés au microscope en lumière polarisée (effet magnéto-optique appelé effet Faraday).

Le principe de la lecture consiste à visualiser les informations enregistrées sur la bande magnétique à travers une couche de grenat. Les transitions magnétiques entre les bits d'information enregistrés créent des champs de fuite qui influencent la structure magnétique du grenat. Les domaines magnétiques de ce dernier s'alignent sur ces transitions qui deviennent ainsi visibles et peuvent être photographiées. Elles apparaissent comme une succession de traits assimilables à un code barre, alternativement sombres et clairs (voir figure ci après).



révélation par un grenat d'une bande d'enregistreur de paramètres.

119.26 - Décodage de l'enregistrement

Le codage des informations sur ce type d'enregistreurs est du type bi-phase M. Il est caractérisé par un changement d'état (une transition magnétique) à chaque début de cellule (la "cellule" correspond au codage d'un bit), le 1 étant représenté par une seconde transition une demi-cellule après, alors que le 0 correspond à l'absence de cette transition intermédiaire.

La figure ci-dessous représente une séquence codée ainsi que l'équivalence des transitions visualisables avec leurs espacements élémentaires. Celles-ci apparaissent alternativement sombres et claires et entre deux transitions de même couleur seuls trois espacements sont possibles : a, 3/2a ou 2a.

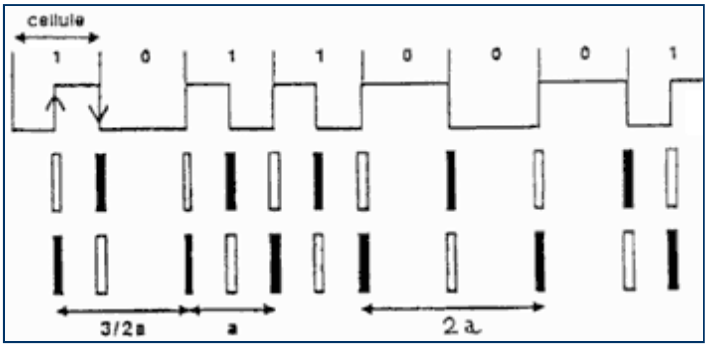


Figure : code bi-phase M et correspondance des transitions visualisables au moyen d'un grenat.

Selon les réglages utilisés au moment de la lecture un front montant peut correspondre à une transition sombre ou à une transition claire. Dans le cas considéré les fronts montants correspondaient aux bandes sombres.

Après le tirage des photographies, celles-ci ont été numérotées et classées. Leur décodage manuel a été effectué en mesurant les distances entre les transitions claires. Connaissant les espacements entre les fronts descendants d'une séquence, il suffisait de la compléter par les fronts montants en respectant les définitions du codage bi-phase M pour reconstituer le message binaire.

119.3 - Méthodes d'identification des victimes

119.31 - Introduction

L'identification des victimes a été conduite par l'Institut de Médecine Légale (IML) de Strasbourg. Cette équipe a, pour la première fois dans le cadre d'un accident aérien, utilisé l'analyse des empreintes génétiques, tant pour reconstituer les corps que pour obtenir une identi- fication fiable quand les critères morphologiques ont fait défaut.

119.32 - Méthodes classiques et résultats

Les méthodes classiques appliquées par cet Institut dans les premières étapes de son travail lui ont permis

d'identifier 67 victimes sur 87 au bout de dix jours. Ces méthodes sont, pour mémoire :

- le ramassage minutieux des corps, débris humains et de leurs objets de voisinage selon un quadrillage du terrain;
- la recherche d'éléments d'identification auprès des familles et des médecins et chirurgiens-dentistes traitants des victimes;
- l'examen des corps et la recherche de particularités anatomiques notamment par examen radioscopique et étude des empreintes digitales;
- l'autopsie médico-légale, notamment l'étude comparative des odontogrammes ante et post-mortem, et les prélèvements tissulaires en vue des investigations toxicologiques et génétiques ultérieures.

119.33 - Analyse des empreintes génétiques et résultats

Dans la suite de son travail, l'Institut a procédé à des investigations génétiques. Ces investigations ont consisté tout d'abord à déterminer le génotype de chaque corps ou fragments de corps par amplification géniques des lois HLA DQ alpha et DI S80. Il s'agit d'une technique de réalisation rapide et suffisamment discriminatoire pour permettre le rapprochement des fragments issus d'un même individu. Elle a permis le rapprochement des restes mortels des deux PNT, de deux PNC et de trente six passagers. Dans un second temps, l'analyse génétique a concerné les restes humains pour lesquels aucune identification formelle n'a pu être établie par les méthodes morphologiques conventionnelles. La démarche a consisté à rechercher un éventuel lien de parenté entre les ascendants ou les descendants d'une victime non identifiée et des fragments non encore attribués à l'aide de sondes moléculaires uniloculaires explorant des régions hautement polymorphes du génome humain.

Le typage par amplification génique combinée à la recherche des liens de parenté a permis de poursuivre les procédures d'identification en reconstituant dans leur totalité ou partiellement 18 des 87 victimes recensées par les autorités comme portées disparues (le pilote, deux PNC, et quinze passagers). Pour les deux victimes non identifiées, aucune trace biologique de leur présence n'a pu être formellement établie, vraisemblablement du fait d'une carbonisation quasi complète des corps dans le foyer d'incendie.

CHAPITRE 1.20 - TEMOIGNAGES

120.1 - Introduction

Au cours de ses travaux, la commission a sollicité de nombreux témoignages concernant les différents aspects de l'enquête.

Certains de ces témoignages ont été recueillis longtemps après les faits.

La compréhension des circonstances et des causes possibles de l'accident ne nécessitait pas qu'ils soient pris en compte dans leur totalité ni, pour ceux qui ont été jugés pertinents, qu'ils soient retranscrits dans leur intégralité.

120.2 - Témoignages recueillis auprès des survivants

Ni les passagers ni l'hôtesse ne se souviennent d'une quelconque impression d'anomalie concernant le vol dans les instants qui ont précédé l'accident. Pour la plupart, ils n'ont aucun souvenir de l'impact et se sont retrouvés soit encore assis sur leur siège soit sur le sol à côté de l'épave.

Ils n'ont pas de souvenir précis de la localisation et de l'importance des foyers d'incendie. Pour résister au froid très vif, certains d'entre eux se sont regroupés à proximité du feu qui s'était déclaré à l'arrière de l'appareil.

L'hôtesse se souvient avoir entendu des bruits d'hélicoptère. Une tentative pour trouver des feux de bengale (à

utiliser comme signaux de localisation) dans l'épave est restée infructueuse.

Ils ne sont pas en mesure de préciser l'heure à laquelle sont arrivés les premiers secours. Selon un témoignage, les premiers sauveteurs parvenus sur le site de l'accident n'avaient aucun équipement de secours. Il leur a en particulier fallu confectionner des brancards avec des branches de sapin et leur veste.

Selon leur témoignage, certains blessés ont dû attendre plus d'une heure que l'ambulance dans laquelle ils avaient été installés les transporte au CHU Hautepierre.

120.3 - Témoignages recueillis auprès de personnes qui étaient proches du site de l'accident vers 19 heures

Des personnes qui se trouvaient au couvent du Mont Sainte-Odile ont indiqué que le brouillard était très dense en fin d'après-midi (visibilité réduite à quelques dizaines de mètres).

120.4 - Témoignages recueillis auprès de personnes ayant participé aux opérations de recherches et de secours

L'hélicoptère de la Sécurité Civile a décollé de l'aéroport de Strasbourg vers 20 heures. La base des nuages se trouvait à environ 600 m d'altitude, ce qui interdisait le survol du mont La Bloss.

En ce qui concerne le déroulement des opérations de secours, la commission a exploité les témoignages joints au rapport établi localement sous l'autorité du Préfet et ceux qui ont été recueillis par la Gendarmerie.

120.5 - Témoignages recueillis auprès du contrôleur du CRNA Est et du contrôleur de l'approche de Strasbourg qui ont eu le F-GGED en fréquence.

Le contrôleur du CRNA Est a conservé le F-GGED en fréquence jusqu'à ce que le croisement de cet appareil avec un vol Air France au départ de Strasbourg soit réalisé. Ensuite, conformément à ce qui avait été négocié lors de la coordination avec le contrôleur d'approche de Strasbourg, il a dirigé le F-GGED sur ANDLO en descente vers le niveau 70.

Le contrôleur d'approche de Strasbourg avait demandé que le F-GGED soit dirigé vers ANDLO pour lui permettre d'effectuer une approche VOR DME 05 directe. Compte tenu de l'évolution de la situation, c'est pour écourter l'approche du F-GGED qu'il a proposé un guidage radar jusqu'à ANDLO. En ce qui concerne les moyens matériels (notamment radar) le contrôleur a indiqué qu'ils n'étaient l'objet d'aucun dysfonctionnement. Il avait sélectionné les réglages suivants sur la console de contrôle d'approche:

- sur l'écran l'image radar était centrée;
- l'échelle de distance de visualisation était réglée sur 50 NM avec marqueurs de 2 NM en 2 NM;
- l'axe de piste 05 était affiché en vidéo synthétique interne. Cet axe part de la piste jusqu'à la limite extérieure de l'écran;
- le point ANDLO était figuré sur l'écran;
- durant toute la séquence, avant et pendant le guidage, l'écho primaire et le mode C associé à l'étiquette STRAPP étaient lisibles sur l'écran;
- à partir du moment où l'équipage a affiché le code 6100 le symbole (rectangle plein) associée à ce code s'est ajouté aux éléments cités précédemment.

120.6 - Témoignages recueillis auprès de personnes qui ont rencontré l'équipage

120.61 - A l'escale d'Orly

Le copilote est venu très en avance en salle de préparation des vols pour examiner le dossier de la rotation prévue. Une heure avant le départ, il effectuait la visite avant vol de l'avion.

Le commandant est arrivé à l'avion environ trente minutes avant l'heure prévue de départ.

L'ambiance à bord était très sérieuse.

120.62 - Au cours du vol Orly - Satolas

Un pilote d'Air Inter qui connaissait le commandant a effectué ce vol en passager dans le poste de pilotage. Il a constaté que les échanges verbaux de l'équipage se limitaient strictement à la conduite du vol. Chacun était plongé dans son travail de son côté et l'atmosphère était "coincée".

Au cours de ce vol, le commandant a évoqué avec lui un événement vécu peu de temps auparavant sur A320. Les circonstances de cet événement qui avait marqué le commandant sont décrites au § 15.11.

120.63 - A l'escale de Satolas

Aucun problème technique n'a été signalé.

Selon le témoignage du coordonnateur, après avoir effectué les différentes tâches leur incombant, les deux pilotes ont mangé côte-à-côte sans qu'aucune conversation ne s'engage. Ils se sont montrés très réservés.

Un agent de trafic a constaté un climat d'indifférence entre les deux pilotes.

120.7 - Témoignages recueillis auprès de pilotes d'Air Inter

Les témoignages recueillis auprès de pilotes d'Air Inter qui avaient travaillé avec le commandant et le copilote (au titre d'instructeur, de contrôleur ou de copilote) ont fourni des témoignages relativement concordants en ce qui concerne le comportement social et la façon de travailler de chacun.

Il en ressort que le commandant est plutôt réservé. Il est très sérieux dans son travail, prudent dans la conduite du vol, et assume sa responsabilité de commandant de bord.

Le copilote est d'un naturel plutôt détendu, décontracté et ouvert. Il paraît "à l'aise" sur A320.

Les informations fournies par ces témoignages sont exposées de façon plus détaillée au § 1.5.

SECTION 2 - ANALYSE

CHAPITRE 2.1 - ANALYSE DU SCENARIO DE L'ACCIDENT

Avertissement:

L'analyse qui suit doit être lue en tenant compte des limites dans lesquelles s'inscrit la conduite normale d'une enquête technique sur un accident. En particulier :

- les circuits organisés du retour d'expérience constituent la seule base disponible pour évaluer l'ordre de grandeur de la fréquence d'une anomalie. Cette référence est peu fiable car entachée de biais systématiques toujours orientés vers la sous-estimation des fréquences d'occurrence;

- pour des raisons évidentes de limitation de la durée de l'enquête, la prise en compte des anomalies ou incidents connus a été arrêtée pour cette analyse à la date du 1° décembre 1992.

21.1 - Principes et éléments d'analyse

21.11 - Présentation de la méthode générale

21.111 - On appelle dans la suite de ce rapport "scénario de l'accident" la séquence factuelle (non interprétée) des événements significatifs qui ont abouti à l'accident. Les éléments d'information disponibles ou recueillis par l'enquête n'ont pas permis d'établir directement ce scénario. La commission a donc été amenée à utiliser des méthodes indirectes. Pour cela, elle a cherché à déterminer de façon aussi exhaustive que possible quels étaient les scénarios envisageables, pour sélectionner ensuite le(s) plus pertinent(s) pour sa réflexion sur de possibles recommandations de sécurité.

Pour maintenir néanmoins cette exploration dans des dimensions acceptables, elle a remarqué que tous les événements composant un scénario n'avaient pas le même poids. **Elle a en particulier identifié pour le cas du F-GGED un événement déterminant, dont la compréhension pouvait orienter de façon décisive celle de l'accident. Cet événement est :**

> l'apparition et la non correction d'un taux moyen de descente de 3300 pieds par minute en approche au lieu d'un taux d'environ 800 pieds par minute qui aurait permis de rester sur un plan d'approche de 3,3° à la vitesse nominale d'approche.

Cet événement est dénommé pour la suite "**pivot**" des scénarios, et la commission a concentré son exploration systématique sur cet événement pivot. Cependant la compréhension des mécanismes directs de l'accident ne se réduit pas à l'explication de cet événement, quel que soit son caractère critique. La réalisation de l'accident implique d'autres événements, d'autres conditions, d'autres circonstances, qui constituent globalement le **scénario** de l'accident.

21.112 - Dans un premier temps (§ 21.2), la commission s'est donc attachée à expliquer cet événement pivot par une séquence ou des coïncidences d'événements primaires, de type panne ou erreur, liés à lui par des relations directes de cause à effet. Dans la suite de ce rapport, on appellera une telle séquence un "**générateur**" de l'accident.

Pour tenter de déterminer le générateur de cet accident, on a construit d'abord sous la forme d'un arbre l'ensemble des générateurs potentiels. On a procédé en utilisant le principe de dichotomie: en partant de l'événement pivot, on a divisé l'espace de ses origines possibles en deux branches complémentaires que l'on a subdivisé à nouveau en deux branches complémentaires, et ainsi de suite jusqu'à trouver un sous-ensemble, soit indivisible, soit dont on pouvait connaître l'état de vérité ou estimer la probabilité globale.

On a procédé ensuite à "l'élagage" de l'arbre à partir des éléments recueillis par l'enquête: données de vol enregistrées, renseignements fournis par l'examen ou les expertises de l'épave, analyse des défaillances connues, témoignages, etc.

21.113 - Pour chaque branche, la conclusion de l'analyse a été choisie parmi l'une des trois suivantes:

- générateur réfuté: l'hypothèse (panne ou erreur) impliquée ne peut pas s'être produite, et/ou elle n'a pas pu contribuer à l'événement pivot;
- générateur possible: l'hypothèse peut s'être produite et sa contribution potentielle au pivot serait alors directe et essentielle.
- facteur contributif possible: l'hypothèse peut s'être produite, mais sa contribution potentielle au pivot serait alors indirecte et secondaire. Elle participerait seulement à un contexte favorisant l'événement pivot, ou à un autre événement du scénario.

21.114 - Dans un deuxième temps (§ 21.3), la commission s'est attachée à compléter de façon détaillée le ou les scénarios de l'accident jugés possibles après élagage de l'arbre des générateurs. Elle a alors cherché à mettre en évidence les autres événements contributifs, et à établir la cohérence de l'hypothèse retenue avec la totalité des informations disponibles.

21.12 - méthode de sélection des générateurs possibles

21.121 - L'arbre des générateurs

L'annexe 14 présente l'arborescence schématique des hypothèses qui ont été explorées comme explication potentielle de l'événement pivot (apparition et maintien d'un taux de descente de 3300 pieds par minute en approche pour une valeur de référence de 800 pieds par minute environ).

Note : Cette recherche concerne dans certains cas beaucoup plus le mécanisme de la mise en descente que celui de son maintien. Ce que l'on cherche alors en toute rigueur, ce sont les mécanismes susceptibles de déclencher une telle descente, et compatibles avec une détection difficile de l'anomalie.

La présentation de cette arborescence obéit aux principes suivants:

- chaque branche représente un ensemble d'hypothèses, et deux branches issues d'un même parent sont complémentaires;
- le rang (R1, R2, etc) d'une branche mesure le nombre de dichotomies effectuées depuis l'événement pivot pour atteindre cette branche;
- le numéro de la branche de rang n est obtenu en ajoutant, à la fin du numéro du parent de rang (n-1), le chiffre "0" si on passe du rang n au rang (n-1) en parcourant la branche de gauche et le chiffre "1" si on emprunte la branche de droite (directions définies face à la figure).

La construction de l'arborescence a d'abord conduit à définir deux branches principales:

- la branche "0" regroupe l'ensemble des hypothèses dans lesquelles le taux de descente élevé résulte de la réaction normale de l'avion aux actions de l'équipage sur les commandes;
- la branche "1" regroupe l'ensemble des hypothèses dans lesquelles le taux de descente ne résulte pas de la réaction normale de l'avion aux actions de l'équipage sur les commandes.

21.122 - Contenu de la branche 0

21.122.1 - Dans ce premier ensemble, qu'on intitulera par la suite "taux de descente effectivement commandé par l'équipage", et qui regroupe tous les cas où l'avion a répondu normalement aux actions de l'équipage sur les commandes, on a d'abord distingué l'ensemble des commandes volontaires (branche 00), et l'ensemble des commandes effectuées involontairement (branche 01), c'est à dire sans que l'équipage ait une conscience correcte de ce qu'il demande réellement à l'avion par l'intermédiaire des commandes de vol (manuelles ou automatiques).

21.122.2 - En développant la branche 00, on a examiné séparément:

- (branche 000): l'ensemble des hypothèses pour lesquelles la commande volontaire d'un taux de descente très élevé résulterait d'une erreur de positionnement, induite par une anomalie dans les données de navigation présentées à l'équipage par l'instrumentation de bord, et provoquée par une anomalie concernant soit les stations au sol (branche 0000), soit l'installation de bord (branche 0001).
- (branche 001): l'ensemble des hypothèses pour lesquelles la commande volontaire ne résulte pas d'anomalies d'information présentées à l'équipage.

21.122.3 - En développant la branche 01, on a distingué:

- les cas où l'équipage disposait d'une conscience correcte du mode vertical activé sur le pilote automatique (branche 011). La commande involontaire d'un taux de descente anormal supposait alors une conscience incorrecte de la valeur commandée elle-même, et on s'est attaché à en identifier les sources possibles, qui apparaissent dans les branches de rang supérieur.

- les cas au contraire où sa conscience du mode vertical actif n'était pas conforme à la réalité (branche 010).n Dans ce cadre, on a identifié et analysé séparément deux mécanismes d'erreur: une absence d'action de changement de mode (branche 0100), et une erreur dans l'exécution du changement de mode (branche 0101).

21.123 - contenu de la branche 1:

21.123.1 - Dans ce deuxième ensemble, qui regroupe toutes les hypothèses où le taux de descente élevé ne résulte pas de la réaction normale de l'avion aux actions de l'équipage sur les commandes, on a isolé les cas (branche 10) où l'embardée verticale résulterait d'une défaillance de l'un des moyens de pilotage et de contrôle de la trajectoire longitudinale (chaîne de profondeur et moteurs).

En explorant cette branche 10, on a d'abord distingué les cas de perte de la poussée (branche 100) des autres hypothèses. Celles-ci, regroupées dans la branche 101, concernent les défaillances de la chaîne de commande de profondeur, depuis le panneau de commande des modes de pilotage automatique jusqu'aux servocommandes elles mêmes. Ces défaillances ont été explorées systématiquement en utilisant la nomenclature ATA, et en examinant d'une part (branche 1010) les composantes fonctionnelles de la chaîne situées en amont de la prise en compte de la consigne (VS ou FPA) par le FMGC, et d'autre part (branche 1011) les composantes fonctionnelles situées en aval, chargées du traitement et de l'application de la consigne.

21.123.2 - La branche complémentaire (11) regroupe alors toutes les autres causes possibles d'embardée verticale: perte de contrôle aérodynamique d'une part (branche 110), et d'autre part tous les autres cas (qui comprennent essentiellement les ruptures structurales en vol) (branche 111).

21.13 - Rappel des informations techniques essentielles

L'ensemble des documents et enregistrements disponibles, ainsi que les études, essais et recherches effectués et rapportés au chapitre 117 du présent rapport, permettent d'établir les éléments suivants concernant la phase de régulation radar et l'approche finale:

- les enregistrements QAR et CVR montrent que le commandant de bord était aux commandes (PF) et que le pilote automatique n°1 était engagé jusqu'à l'accident. L'auto-poussée est restée engagée en mode SPEED ;

- le mode de pilotage automatique était un mode sélecté (par opposition au mode "managé"). En effet, la vitesse d'évolution de l'avion ne correspond pas à la vitesse cible en mode managé avant la sortie des hypersustentateurs pour l'altitude de 5000 ft et le cost index 55 presque certainement prise en compte par le FMS (valeur inscrite dans la COROUTE). On remarque qu'elle est cohérente avec la vitesse managée pour la croisière vers Strasbourg).

- les études rapportées au § 117.5 montrent qu'il n'y a pas eu de changement de mode de pilotage automatique pendant le dernier virage et la mise en descente (à l'exception du dégagement du mode ALT pour commander la mise en descente), et que le mode actif pendant cette phase du vol était presque certainement la référence HDG-VS;

- les conversations de l'équipage qui ont été comprises à l'écoute de l'enregistrement CVR ne comportent aucune mention explicite d'anomalie concernant le fonctionnement de l'avion, des moyens de navigation, ou des instruments de bord (voir la transcription du CVR en annexe 8);

- l'enregistrement QAR montre qu'aucun des deux FMGC n'était déclaré en panne;

- la trajectoire du F-GGED a pu être reconstituée avec une bonne précision en utilisant notamment

l'enregistrement du radio-altimètre (voir § 117.8). La trajectoire enregistrée FMGC1 présente avec cette trajectoire de référence un écart latéral maximum d'environ 0,15NM. Compte tenu de la précision du calcul de position FMGC en mode DME/DME, ceci est une indication de fonctionnement correct du FMGC1 pour la navigation horizontale (voir § 117.342).

- la database utilisée par le F-GGED déclarait le VOR et le TACAN non co-implantés. Dans ces conditions les FMGC du FGGED n'ont jamais exploité le VOR STR pour le calcul de position en approche finale.

- l'enregistrement QAR indique que les deux récepteurs VOR étaient accordés sur STR pendant le virage de procédure, que le commandant de bord a sélecté le mode ROSE VOR sur son écran de navigation au début du virage de procédure, et qu'il a conservé ce mode jusqu'à l'accident à l'exception d'une période d'une dizaine de secondes, où il est repassé sur le mode ARC NAV, alors qu'il venait de recevoir du contrôle l'information "...vous êtes à quatre nautiques d'ANDLO ...travers gauche d'ANDLO."

21.2 - analyse de la branche 0: hypothèse d'une trajectoire effectivement commandée par l'équipage

21.21 - Branche 00 : trajectoire commandée volontairement

21.211 - branche 000 : commande volontaire suite à une erreur de positionnement induite par les données présentées à l'équipage

21.211.1 - Branche 000 0: origine de l'erreur dans les systèmes de radionavigation au sol

21.211.11- Le fonctionnement de la station au sol TACAN a fait l'objet d'une vérification en vol dans les jours suivant l'accident (voir § 117.4), et cette vérification n'a mis en évidence aucune anomalie. Par ailleurs, un majorant des erreurs attribuables à la station sol (erreur de retard systématique, erreur dues aux multitrajets) peut être évalué à 0,25NM.

Une erreur de cet ordre de grandeur sur la distance ne peut pas avoir contribué à l'accident. Ceci permet de réfuter les hypothèses contenues dans la branche 000 01 de l'arbre des générateurs.

21.211.12- Le fonctionnement de la station au sol VOR a également fait l'objet d'un contrôle en vol dans les jours suivant l'accident (voir § 117.4), et cette vérification a montré que cette station présentait des caractéristiques comprises dans les tolérances fixées par l'OACI. Cependant l'examen des courbes de taux de modulation et d'erreur relevés lors des vols de vérification depuis 10NM jusqu'au VOR fait apparaître les éléments suivants:

- l'erreur moyenne sur le radial 231° émis par le VOR est d'environ 1° : le radial 231° émis se situe en réalité sur le radial 232°, soit 1° à gauche de l'axe d'approche publié dans le sens de l'approche;

- sur l'axe d'approche, le signal est perturbé, très probablement par la composition du signal direct et de signaux réfléchis par les obstacles, entre 9 NM et 8 NM de la station. Cette perturbation est à caractère sinusoïdal, de basse fréquence et son amplitude maximale est de 3° à 4°. Elle peut provoquer une oscillation des indications VOR à bord, dont l'importance dépend des caractéristiques de filtrage de la chaîne de traitement du signal. Une simulation a montré (voir § 117.421) qu'une telle perturbation du signal d'entrée est reproduite en sortie d'un récepteur VOR Collins-700 légèrement atténuée et déphasée.

Il faut ajouter que dans les toutes dernières secondes du vol, l'avion était très proche de l'horizon d'émission de la station, voire au-dessous, à cause du masque représenté par le Mont La Bloss. Ceci a pu provoquer une altération de l'indication à bord.

On relève de fait une incohérence entre la position de l'avion telle qu'elle ressort de la trajectoire de synthèse présentée au § 1.17.8 et la lecture des indications VOR de bord faite par le copilote à l'instant QAR 3049: "sur l'axe", puis 3054: "on arrive sur l'axe... un demi-point de l'axe".

A cet instant, d'après la trajectoire de synthèse, l'avion est sur le radial 236°, soit à 4° du radial moyen de référence tel que relevé par l'avion laboratoire lors de la vérification en vol. Or l'indication "un demi-point de l'axe" signifie que la barre d'écart sur le ND indique au copilote un écart brut angulaire de 2,5° par rapport à l'axe d'approche finale sélecté. Il y a donc une incohérence de 4° avec l'annonce "sur l'axe" et de 1,5° avec l'annonce "un demi-point de l'axe". On peut considérer ces annonces comme des lectures instantanées exactes des indications fournies par le ND (écran de navigation). Dans ce cas l'indication était affectée d'une fluctuation d'un demi point au moins en quelques secondes. On peut également considérer l'annonce "sur l'axe" comme une anticipation de résultat, reprise ensuite sous la formule "on arrive sur...".

A ce même instant, l'avion est situé à 8,7 NM du VOR STR, soit dans la zone de distorsion du signal reçu, dont on a vu qu'elle était susceptible d'entraîner des écarts allant jusqu'à 4°, ces variations pouvant s'apparenter à des oscillations d'aiguille.

En conséquence, les caractéristiques du signal reçu peuvent expliquer à elles seules l'incohérence relevée entre la position effective de l'avion à cet instant et l'indication VOR à bord du F-GGED.

Note : on traitera plus loin de l'hypothèse supplémentaire d'un battement des indications VOR dû aux caractéristiques de l'installation de bord.

Cette altération probable des indications VOR reçues par l'avion ne peut cependant pas avoir contribué directement à une mise en descente à taux élevé, ou au maintien de cette anomalie. On a vu que le VOR STR n'avait pas été utilisé par les FMGC, et dans une telle procédure l'équipage n'utilise pas le VOR pour le positionnement longitudinal du point de début de descente. Ceci permet de rejeter la branche 000 00 en tant que générateur possible de l'accident.

La commission s'est par ailleurs interrogée sur la contribution possible de ces altérations VOR sur la charge de travail. Deux aspects sont à considérer ici. Tout d'abord, le décalage moyen du radial 231° en radial 232, qui n'a qu'un effet minime sur la géométrie de l'alignement, joue plutôt dans un sens favorable à la capture, car la trajectoire est trop intérieure.

En revanche, la distorsion qui se fait sentir entre 9 et 8 NM, alors que l'équipage est préoccupé par la rejointe de l'axe, peut avoir compliqué sa tâche à son insu par une indication instable.

Les éléments précédents permettent à la commission d'exclure des générateurs possibles toute erreur de positionnement significative ayant pour origine les systèmes au sol, et par conséquent de réfuter la branche 000 0 de l'arbre des générateurs. En revanche la commission n'exclut pas que l'instabilité du signal VOR reçu entre 9 et 8 NM ait pu constituer un facteur contributif à la non détection de l'anomalie de taux de descente par l'équipage, en augmentant sa charge de travail durant cette phase de la capture de l'axe.

21.211.2- Branche 000 1: origine dans les systèmes de bord

21.211.21- Il reste par conséquent à examiner les hypothèses permettant d'expliquer une mise en descente volontaire, effectuée par suite d'informations de position erronées, avec une erreur ayant son origine dans les systèmes de bord.

On sait que le commandant avait sélectionné le mode d'affichage ROSE VOR sur son écran de navigation pour toute la durée du virage de procédure et de l'approche finale, sauf au temps QAR 2959 où il a sélectionné le mode ARC NAV/20NM pendant une douzaine de secondes. A l'exception de ce court instant, il a donc utilisé d'une part les informations VOR de relèvement et d'écart par rapport à l'axe, d'autre part de distance DME par rapport à STR, pour effectuer l'alignement sur l'axe et la mise en descente finale. On a donc analysé (branche 000 11) les anomalies susceptibles d'affecter ces données brutes ("raw data") et leur contribution possible au pivot de l'accident. Parce qu'on ne connaît pas le mode d'affichage utilisé par le copilote, on a également examiné (branche 000 10) la contribution possible des anomalies susceptibles d'affecter les cartes présentées par les écrans de navigation sur les modes ROSE NAV et ARC.

En ce qui concerne les anomalies susceptibles d'affecter les données brutes (raw data), on a examiné séparément les informations VOR et les informations DME.

21.211.22 - Informations VOR (branche 000 110) :

Le F-GGED était équipé de deux récepteurs VOR Collins-700. Les enregistrements du QAR montrent que ces deux récepteurs étaient accordés sur la fréquence du VOR STR et qu'aucun défaut n'était détecté par leur dispositif d'auto-surveillance.

On examine ici les anomalies non surveillées susceptibles d'avoir affecté les indications fournies à l'équipage, en plus des anomalies dues au signal reçu et examinées plus haut. Les anomalies de ce type, susceptibles d'affecter cet équipement, sont rappelées au § 117.32.

On peut exclure tout d'abord l'hypothèse d'une indication de relèvement stable mais fausse, telle que visée par la branche 0001101 de l'arbre des générateurs. En effet ce défaut n'a été constaté que sur des récepteurs fabriqués par un autre équipementier que Collins. Le constructeur attribue la différence de traitement des signaux VOR reçus, aux caractéristiques différentes des filtres utilisés par l'un et l'autre équipementier.

En revanche des battements de l'aiguille des relèvements et de la barre d'écart, dus à une trop forte métallisation du carénage de l'antenne, sont bien susceptibles d'affecter les équipements Collins-700-200. Cette anomalie fait l'objet de la branche 0001100 de l'arbre des générateurs.

Il est impossible de démontrer sur un plan technique qu'une telle anomalie s'est effectivement produite, ou ne s'est pas produite, pendant la phase d'approche. La transcription du CVR ne comporte aucun signe que l'équipage aurait détecté un tel phénomène. La fréquence des battements peut être assez faible pour que le déplacement intempestif des indications ne soit pas décelé lors d'une consultation rapide de l'instrument, mais la transcription du CVR montre que l'équipage exploite attentivement les informations brutes du VOR pendant la phase d'interception et d'alignement. Plusieurs commentaires sont exprimés, qui sont tous cohérents avec la trajectoire de synthèse, sauf aux temps QAR 3049 et 3054 déjà examinés ci-dessus au titre de la qualité d'émission de la station sol VOR.

En particulier, au temps QAR 2983, le copilote dit "... il aurait fallu que tu ouvres au zéro sept zéro" (en d'autres termes, le copilote fait remarquer au commandant qu'il aurait dû desserrer le virage en prenant le cap 070°). Au temps 2985, le commandant répond "ouais ouais". Au temps 2987 le copilote ajoute "au moins". Ces commentaires sont parfaitement cohérents avec la position de l'avion qui est effectivement trop à l'intérieur de la trajectoire idéale. Enfin, au temps QAR 3054, alors que l'avion revient vers l'axe, le copilote dit, en faisant probablement référence aux écarts passés: " là, voilà, il a été au soixante, c'est bon tu vois ici". Or on peut interpréter cette phrase du copilote comme une allusion au début de la descente, qui a été effectivement commencée sur le relèvement 060° de STR.

En conséquence, s'il y a eu des battements d'indications VOR, leur fréquence était suffisamment faible pour ne pas être détectée ou du moins ne pas susciter de remarque de la part d'un équipage attentif, et leur amplitude était suffisamment faible pour ne pas empêcher une perception correcte de la dynamique d'interception de l'axe.

Enfin, dans la gestion verticale d'une telle procédure, l'équipage n'utilise pas le VOR pour le positionnement longitudinal du point de début de descente. Dans le plan latéral, les difficultés initiales d'alignement rencontrées par le commandant résultent directement du positionnement du point de virage en fin d'éloignement, et des sélections de cap qu'il a effectuées, et qui ne permettaient pas une interception de l'axe au point prévu. Le fait que le copilote l'ait assez rapidement remarqué et exprimé, et que le commandant l'ait approuvé, indique que les indications VOR dont disposait l'équipage n'étaient affectées d'aucune anomalie suffisante pour altérer significativement sa perception de la position relative de l'avion.

La commission considère donc l'hypothèse de battements VOR dûs à l'installation de bord, présentée dans la branche 000 1100, comme très improbable. De plus, dans le cas ou de tels battements se seraient produits, ils n'auraient pu contribuer directement à l'événement pivot, et cette hypothèse ne peut donc pas constituer un générateur de l'accident. Si néanmoins ils se sont produits, et bien que non détectés, ils ont pu constituer un facteur contributif, en augmentant un peu la charge de travail de l'équipage dans la phase de capture de l'axe d'approche antérieure et immédiatement postérieure à la mise en descente.

21.211.23 - Informations DME (branche 000 111):

Rappel: à Strasbourg la station sol de mesure de distance est une balise TACAN militaire. Les informations

fournies par ce type de balise sont exploitables par les équipements DME embarqués.

Une erreur dans la distance au TACAN STR indiquée à l'équipage, qui se serait traduite par une sous-estimation importante de la distance réelle, aurait pu conduire l'équipage à se croire plus proche de STR qu'il n'était en réalité et donc, compte tenu de son altitude, à se croire au-dessus du plan de descente publié pour cette approche. Dans cette hypothèse, le pilote aurait alors pu chercher à rejoindre le plan de 3,3° en accentuant sa descente. L'erreur de distance aurait également pu, lors d'un contrôle de hauteur de passage, donner à l'équipage une idée fausse de sa position par rapport au plan de référence. On a donc examiné les possibilités de défaillance technique de l'installation de bord DME.

Le F-GGED était équipé de deux équipements Collins-700-020. Une analyse des anomalies connues susceptibles d'affecter les informations brutes de distance fournies par ces équipements fait l'objet du § 117.31.

La lecture et l'exploitation du contenu de la mémoire non volatile du BITE des deux équipements récupérés sur le site a permis de faire la démonstration qu'ils n'avaient pas pu être affectés par le défaut dénommé "sleeping mode".

En ce qui concerne les défauts "deaf mode" et "jumping mode", l'hypothèse de leur occurrence a été techniquement réfutée (voir le § 117.325.2 et 117.325.3).

Les deux paragraphes précédents permettent en conséquence de réfuter la branche répertoriée 000 111 0 de l'arbre des générateurs.

En revanche, un autre défaut conduisant à des indications de distance DME erronées a été identifié postérieurement à l'accident (voir § 117.325.4). L'hypothèse de l'occurrence de ce défaut ne peut pas être écartée dans l'état des connaissances prévalant à la date de rédaction du rapport. Plus généralement, la démonstration technique absolue du fonctionnement correct des récepteurs DME du F-GGED ne peut pas être apportée de façon formelle.

Cependant plusieurs éléments contredisent l'hypothèse d'une telle défaillance, ou du moins celle qu'elle ait pu contribuer à la mise en descente à un taux excessif.

Au temps QAR 2382, le copilote annonce, sur demande du contrôle, une distance DME de 22 NM par rapport à STR qui correspond effectivement à la position de l'avion. Par la suite l'équipage ne fait aucune allusion à un retard de mise en descente, ou à un quelconque besoin de modifier le taux de descente prévu lors du briefing; il ne conteste pas la position "travers droit Andlo" (le mot "droit" étant par ailleurs inadapté en la circonstance) que lui indique le contrôleur au temps QAR 2991; il commande la mise en descente à 11,2 NM de STR, c'est-à-dire à la distance nominale prévue par la procédure, quinze secondes après l'autorisation d'approche finale donnée par le contrôle. Or il est hautement improbable que le commandant ait commandé cette mise en descente finale d'une approche VOR DME sans prendre en compte l'indication DME, ou que l'ayant fait, il n'ait pas détecté une incohérence d'indication.

En conséquence, la contribution possible d'une défaillance de l'installation de bord DME à l'accident se limite à la non détection du taux excessif de descente : une anomalie survenue au moment d'un contrôle de hauteur (par ailleurs non annoncé) sur l'instrument du pilote effectuant ce contrôle, aurait alors empêché ce pilote de prendre conscience de la hauteur anormalement faible de la trajectoire.

La commission considère donc l'hypothèse présentée dans la branche 000 111 1 comme extrêmement improbable. De plus, dans le cas où une anomalie de fonctionnement de l'installation de bord se serait néanmoins produite, elle n'aurait pas pu contribuer directement à l'événement pivot, et cette hypothèse ne peut donc pas constituer un générateur de l'accident. Une telle anomalie aurait pu cependant constituer un facteur contributif, en invalidant un éventuel contrôle hauteur/distance.

21.211.24 - Anomalies de carte affichée sur le ND (branche 000 10)

La commission a analysé dans le détail les anomalies de carte connues à l'époque de l'accident. Cette analyse (cf § 117.34) permet d'exclure de façon formelle toutes les anomalies connues à l'exception de deux. La

première concerne uniquement la présentation en échelle 10 NM* et conduit à un positionnement incorrect de la symbologie figurant la trajectoire. La seconde conduit à une symbologie figée sur le ND.

*** Note**: comme indiqué au paragraphe 117.221, on a noté, sur le site de l'accident, que les sélecteurs d'échelle étaient positionnés sur l'indexe 10 NM. Mais , lors de l'expertise du FCU, le sélecteur côté Commandant de bord était positionné sur 20 NM. Il n'est donc pas possible de connaître , de façon fiable les positions au moment de l'accident.
De plus, on peut remarquer que l'utilisation de l'échelle 10 NM est fort improbable pour cette approche, car ni STR, ni la piste n'apparaissent alors sur la carte au début de descente

Quoi qu'il en soit, on sait que le commandant utilisait le mode ROSE VOR, dépourvu de carte, pour la phase d'alignement et de mise en descente, sauf pendant une dizaine de secondes environ quarante secondes avant la mise en descente.

La seule contribution possible d'une éventuelle anomalie de carte concerne donc le cas où, le copilote ayant affiché un mode carte, le commandant aurait utilisé cette carte en tournant la tête, ou bien aurait pris en compte des indications qui lui auraient été transmises silencieusement (le CVR n'en porte pas trace) par le copilote sur la base de cette même carte.

Mais au cours du dernier virage et pendant la phase d'interception de l'axe de percée, l'équipage commente à voix haute le cap de l'avion et les indications VOR. Toutes les interventions du copilote concernant la navigation latérale font référence aux informations d'écart brut et de relèvement, et sont parfaitement cohérentes avec la position réelle de l'avion. Les deux pilotes expriment leur accord quant à l'analyse de ces informations et montrent qu'ils ont clairement conscience que le virage est trop serré. Ils n'évoquent jamais la carte qui a été affichée pendant une dizaine de secondes sur le ND1, et en particulier, ne font pas état d'incohérence entre une carte et les informations brutes de radionavigation.

L'hypothèse d'une mise en descente volontaire à un taux quadruple du taux nominal sur la base d'un scénario du type évoqué plus haut, les indications de distance DME étant par ailleurs correctes, ne peut être raisonnablement retenue.

L'ensemble de ces éléments a conduit la commission à ne pas retenir une anomalie de carte (branche 000 10) comme générateur possible ou facteur contributif de l'accident.

21.212 - branche 001: commande volontaire, pour une autre raison qu'une erreur de positionnement induite par les données présentées à l'équipage.

21.212.1 - En cherchant toutes les raisons, autres que celles liées à une erreur de positionnement, susceptibles de conduire un équipage à décider une descente finale à un taux de 3300 ft/mn, on a d'abord étudié celles (branche 001 1) qui pouvaient être liées à une mauvaise compréhension ou à une mauvaise exécution de la procédure elle-même.

La branche 001 10 évoque l'hypothèse d'une volonté de descente rapide à la MDH, par exemple pour retrouver le plus rapidement la vue du sol et pour éviter le risque d'une acquisition trop tardive de cette hauteur, compromettant l'atterrissage. Cette hypothèse implique d'abord une confusion dans l'esprit de l'équipage entre le point d'approche intermédiaire (IF) ANDLO situé à 11NM de STR et le point d'approche finale (FAF) situé à 7NM de STR. Compte tenu des particularités de cette procédure (descente sous un angle constant dès ANDLO), une telle confusion n'est pas impossible. Mais cette hypothèse implique néanmoins soit un oubli, soit une violation délibérée par les deux pilotes de la règle de descente modulée par des couples distance/altitude minimum, et en particulier ici le couple 7NM STR/ 3660 ft.

Cette hypothèse est cependant hautement improbable pour les raisons suivantes:

- le CVR ne comporte pas la moindre allusion à cette démarche, très éloignée de celle prévue au briefing, et qui aurait appelé soit un avertissement de la part du commandant, soit une question de la part du copilote;

- le taux de descente adopté est tout à fait excessif: presque le triple des valeurs usuelles employées pour une telle démarche. Or l'équipage a parfaitement conscience qu'il n'est pas encore sur l'axe (cf

CVR), et il connaît bien le site et l'existence d'un relief important au dessous de sa trajectoire.

En conséquence, la commission a considéré l'hypothèse d'une descente volontaire à 3300 ft/mn jusqu'à la MDH comme hautement improbable.

21.212.2 - La branche 001 110 de l'arbre des générateurs évoque l'hypothèse d'une erreur de calcul sur le taux de descente à adopter (en mode VS), compte tenu de la pente de descente de 5,5% indiquée sur la fiche de procédure.

La commission a considéré cette hypothèse hautement improbable car la valeur de consigne est beaucoup trop éloignée des valeurs normales de vitesse verticale en approche finale pour qu'une telle erreur de calcul échappe aux pilotes.

La branche 001 110 de l'arbre des générateurs évoque entre autres possibilités, l'hypothèse d'une confusion par le pilote aux commandes entre la distance DME STR et la distance au seuil de piste. On peut remarquer que la fiche de procédure utilisée par l'équipage comporte une échelle de distance au seuil de piste. Dans le cas d'une telle confusion, l'équipage aurait eu l'impression d'être en retard pour sa descente.

La commission a considéré cette hypothèse hautement improbable. En effet, l'erreur commise sur la distance sous cette hypothèse serait d'une valeur relative (2,5 NM sur 11 NM) qui ne permet en aucun cas d'expliquer une mise en descente à un taux aussi élevé. De plus, la mise en descente s'est effectuée à la distance nominale.

Enfin on a envisagé l'hypothèse d'une illusion visuelle conduisant le pilote aux commandes à augmenter considérablement la pente de la trajectoire après acquisition d'un (mauvais) repère visuel. Cette hypothèse, représentée par la branche 0010 de l'arbre des générateurs est réfutée sur la base des informations météorologiques disponibles et des autres éléments du dossier (phares sortis non allumés...), qui montrent que la mise en descente et la descente finale se sont effectuées hors de la vue du sol.

L'ensemble de ces éléments a conduit la commission a ne retenir aucune des hypothèses contenues dans la branche 001 comme générateur possible ou facteur contributif de l'accident.

21.22 - Branche 01: trajectoire commandée involontairement

21.221- Branche 010: commande involontaire par inconscience du mode vertical

Cet ensemble regroupe toutes les hypothèses associées à une perte de conscience de la référence verticale de pilote automatique, en l'occurrence le mode VS (voir § 1.17.5) par l'équipage, et en particulier par le commandant de bord. La mise en descente de l'avion à un taux excessif résulte alors de l'affichage au FCU d'une valeur de consigne en angle de descente (FPA) de 3°3, que le pilote automatique interprète, conformément à la référence sélectée, comme une consigne en vitesse verticale (VS).

Les caractéristiques de l'affichage conduisent dans ce cas le pilote automatique à prendre en compte une valeur de consigne de 3300 ft/mn.

La commission a identifié deux mécanismes d'erreur susceptibles de conduire à cette situation:

- un oubli de changement de référence(branche 0100): après avoir piloté son virage en utilisant le mode HDG, le pilote affiche la valeur de consigne 3°3 FPA et l'active sans avoir changé de référence, soit par oubli pur et simple de cette action intermédiaire, soit par confusion sur les corrélations HDG-VS et TRK-FPA;

- une erreur dans l'exécution du changement de référence (branche 0101), et en particulier une confusion de bouton poussoir: au lieu d'une action sur le bouton-poussoir de commutation de mode HDG-VS et TRK-FPA, le pilote effectue une action sur le bouton-poussoir d'inversion d'altitude mètres/pieds, qui est identique et situé plus à droite sur le bandeau FCU.

Les hypothèses regroupées dans la branche 010 reposent sur des mécanismes d'erreur classiques. La fréquence constatée en instruction pour des erreurs de ce type est assez élevée. Leur fréquence résiduelle en exploitation n'est pas connue, et elles sont en général rapidement détectées et corrigées. Les incidents rapportés (voir § 1.17.6) laissent cependant penser que la fréquence de telles erreurs restant longuement indétectées par l'équipage est de l'ordre de 10^{-5} par heure de vol.

Ceci a conduit la commission à considérer,l'ensemble d'hypothèses contenu dans la branche 010 comme un générateur possible, et assez probable, de l'accident.

21.222 - branche 011: commande involontaire avec conscience correcte du mode vertical actif

La commande involontaire d'un taux de descente anormal par un équipage conscient du mode de pilotage automatique vertical actif suppose une mauvaise conscience de la valeur commandée elle-même. La commission a identifié deux mécanismes susceptibles de conduire à la commande d'une vitesse verticale aberrante à l'insu du commandant:

21.222.1 - le premier mécanisme (branche 011 0) repose sur une pratique parfois utilisée pour débuter une descente dans une phase où la charge de travail est élevée: le pilote effectue rapidement, d'un seul geste circulaire sur le rotacteur, un affichage très grossier de la valeur de consigne, qu'il revient affiner ensuite. La valeur affichée à la suite de ce premier geste peut être excessive soit du fait de la précipitation, soit volontairement dans l'idée (par ailleurs illusoire) d'accélérer la mise en descente et de contrer ainsi l'effet ascensionnel dû à la sortie des hypersustentateurs, soit enfin à cause de l'effet d'une turbulence sur le geste.

Dans ce cas l'oubli de contrôle ultérieur conduit à une trajectoire commandée anormale. L'affichage d'une valeur de consigne de 3300 ft/mn d'un seul geste demande un tout petit peu plus d'un tour de rotacteur en mode VS (un tour comporte 32 crans correspondant à un incrément d'affichage de 3200 ft/mn), et plus de trois tours de rotacteur en mode FPA (où il faut afficher 9.9° au moins).

Des essais ont montré qu'il s'agit dans le second cas d'un geste difficile à réaliser, et en tout cas très peu naturel, qui le rend fort peu probable. Le mode FPA lui-même étant très peu probable (cf § 1.17.5), cette hypothèse peut être abandonnée. Dans le cas du mode VS, en revanche, (considéré ici comme volontaire), le geste est possible. Cependant:

- on suppose que le mode VS résulte d'un choix conscient (sinon on est dans l'erreur de mode), donc d'un changement de stratégie par rapport au briefing, changement qui n'a été ni annoncé ni commenté;
- la faible expérience du commandant sur l'avion et sa personnalité ne plaident pas du tout en faveur d'un tel gestuel;
- la valeur affichée "par hasard" est précisément celle qui correspond, numériquement, à l'affichage nominal. Il faut donc prendre en compte la probabilité conditionnelle de tomber sur 3°3;
- une procédure de type " affichage très grossier/ retour pour affiner" comporte un bon pouvoir de rappel à court terme concernant la seconde étape. L'hypothèse "le commandant a oublié totalement de revenir sur son affichage" est donc moins probable que l'hypothèse " étant revenu sur son affichage, il a été satisfait de constater une valeur de 3°3, ou une valeur voisine qu'il a légèrement ajustée". On retrouve alors à ce stade, sous une forme un peu différente la mauvaise conscience d'une incohérence unité d'affichage/ mode vertical actif.

Ceci a conduit la commission à retenir cette hypothèse comme un générateur possible mais très peu probable.

21.222.2 - le second mécanisme (branche 011 10) met en scène un mécanisme d'erreur plus complexe: l'application dans l'action présente d'un élément de projet d'action passé non réactualisé. Dans ce scénario, le commandant est parfaitement conscient du mode de pilotage vertical (VS), mais il effectue l'affichage de la valeur de consigne par un geste machinal, en tirant de sa mémoire la valeur calculée précédemment et annoncée lors du briefing (voir temps QAR 2741), soit 3°3. En d'autres termes, il affiche un nombre sans

dimension, sans effectuer alors de contrôle mettant en oeuvre la signification de ce nombre.

Ce type de fonctionnement, très économe en ressources mentales, permet d'affecter le maximum d'attention au traitement d'un problème perçu comme prioritaire. Ce type d'erreur est en conséquence plausible dans le contexte de focalisation de l'attention sur la navigation latérale et la mise en configuration de l'avion, qui prévaut dans le cockpit à ce moment du vol.

Ceci a conduit la commission à considérer cette hypothèse, contenue dans la branche 011 10, comme un générateur possible et assez probable de l'accident.

21.3 - Analyse de la branche 1: hypothèse d'une trajectoire non commandée par l'équipage

21.31 - Branche 11

21.311 - L'examen de l'épave (voir § 113.2) a permis de déterminer que l'avion n'avait subi aucune rupture ni aucune perte de surface aérodynamique mobile antérieures à l'impact avec les arbres et le sol.

Ceci permet à la commission de réfuter les hypothèses contenues dans la branche 111 de l'arbre des générateurs.

21.312- L'examen de l'épave, l'analyse de la répartition des débris, la reconstitution de la trajectoire d'entrée dans les arbres, l'analyse des paramètres du QAR représentatifs de la trajectoire verticale et la comparaison de celle-ci avec le modèle aérodynamique de l'avion, montrent que l'avion n'a subi aucune perte de contrôle aérodynamique avant l'impact.

Ceci permet à la commission de réfuter les hypothèses contenues dans la branche 110 de l'arbre des générateurs.

21.32 - Branche 10: défaillance d'un moyen de commande de la trajectoire verticale

21.321 - Perte de la poussée

L'examen et l'expertise des moteurs, ainsi que l'analyse des paramètres enregistrés par le QAR les concernant, démontrent que les moteurs fonctionnaient avant l'impact à un régime compatible avec un ralenti vol, et que ce régime correspondant aux ordres de poussée normalement envoyés pour la configuration de l'avion et sa trajectoire par le dispositif de commande automatique de la poussée (A/THR). Ceci permet de réfuter les hypothèses contenues dans la branche 100 de l'arbre des générateurs.

21.322 - Défaillance de la chaîne de commande de profondeur

21.322.1 - Les éléments d'analyse présentés dans ce paragraphe permettent en conséquence de réfuter globalement l'hypothèse d'une trajectoire non commandée par l'équipage, à l'exception des cas représentés par la branche 101, qui regroupe tous les cas possibles de défaillance de la chaîne de commande de profondeur.

Cette chaîne comprend des éléments répertoriés sous la rubrique ATA 22 (Autopilot, Flight Director, Autothrust, Flight Augmentation Computer, Flight Management and Guidance System, Autoflight System Bite) et des éléments répertoriés sous la rubrique ATA 27 (THS, Spoilers, ELAC, SEC,..). L'ensemble des défaillances possibles dans la chaîne fonctionnelle a été divisé en deux, de part et d'autre de la prise en compte de la consigne par le FMGC.

*21.322.2- Défaillance **en amont** de la prise de consigne*

L'examen des défaillances éventuelles situées en amont de la prise en compte de la consigne par le FMGC, regroupées dans la branche 1010 de l'arbre des générateurs, a fait l'objet du § 117.22.

Ces possibilités de défaillance technique envisagées concernent soit le mode de pilotage vertical, soit la prise en compte de la valeur de consigne sélectée par l'équipage.

Concernant le mode vertical, on a envisagé les possibilités de défaillance suivantes:

- mauvais fonctionnement du bouton poussoir de sélection de la référence: malgré une action de l'équipage sur ce bouton, le changement de référence de HDG-VS en TRK-FPA ne s'effectue pas (branche 101 000 1). Comme l'indiquent les recherches rapportées au § 117.63, il existe des cas connus d'une telle défaillance, et rien ne permet d'exclure formellement qu'elle se soit produite.

  Ceci a conduit la commission a retenir l'hypothèse représentée par la branche 101 000 1 comme générateur possible de l'accident.

- changement intempestif de mode (branche 101 000 0): après le changement de mode de HDG-VS en TRK-FPA, il y a réversion intempestive vers le mode initial.

La démonstration qu'il n'y a pas eu de changement de référence (voir § 117.5) permet de réfuter cette hypothèse, contenue dans la branche 101 000 0.

- activation intempestive de mode: lors de la sélection de la valeur de consigne par rotation du sélecteur, le mode de descente s'engage intempestivement sans qu'il y ait eu action à tirer sur le rotacteur (branche 101 001). Il existe des cas connus d'une telle défaillance. Rien ne permet D'exclure cette hypothèse, mais la contribution à l'accident d'un tel événement serait nulle ou marginale. En effet la mise en descente s'est effectuée à la distance spécifiée (11,2NM) et suit d'environ 15 secondes l'autorisation d'approche finale. Tout indique par conséquent qu'elle a été commandée par l'équipage.

Ceci a conduit la commission à réfuter la branche 101 001 comme un générateur possible de l'accident.

Concernant les valeurs de consigne, on a envisagé les possibilités de défaillance suivantes:

- panne d'un segment lumineux d'affichage, d'où un affichage erroné. On envisage ici que l'équipage a sélectionné le mode FPA, qu'il veut afficher l'angle de descente prévu durant le briefing (3°3), qu'il tourne le rotacteur rapidement et sans regarder dans un premier temps les valeurs affichées, dépassant ainsi largement la valeur cible, et qu'il affiche finalement 9°3 en lisant 3°3 par suite de la panne de la première barrette verticale. (On peut exclure comme trop improbable la double panne permettant d'afficher 9°9 en lisant 3°3).

Cette hypothèse, contenue dans la branche 101 010, est réfutée par les trois raisons suivantes :

le mode sélecté était presque sûrement le mode VS;

la vitesse verticale qui aurait résulté d'un affichage de 9°3 en mode FPA est nettement inférieure celle enregistrée par le QAR;

la manoeuvre du rotacteur nécessaire pour afficher 9°3 est nettement plus ample que celle correspondant à l'affichage de 3°3;

- corruption de la valeur de consigne transmise par le FCU vers le FMGC1 (branche 101 011) : l'équipage affiche correctement la valeur cible compatible avec le plan de descente nominal (environ 800 ft/mn en mode VS). Celle-ci apparaît correctement dans la fenêtre d'affichage, mais la valeur transmise et prise en compte par le FMGC1 est différente (et supérieure).

Il existe un cas connu de FCU présentant cette défaillance, ayant conduit huit mois après l'accident à trois cas de réaction anormale du même avion en vol. Les éléments recueillis par l'enquête n'ont pas permis d'exclure formellement qu'une telle défaillance se soit produite, conduisant à une vitesse verticale stabilisée de 3300 ft/mn pour une valeur affichée de l'ordre de 800 ft/mn. Cependant la fréquence connue d'un tel événement est très faible : en effet, fin décembre 1992, les exploitants d'A320 avaient effectuées un million quatre cent mille heures de vol, au cours desquelles on dénombre un défaut identifié, affectant un même FCU (événements Air

Inter en septembre 1992, voir § 1.17.6.3).

Cette hypothèse suppose déjà que le mode vertical activé volontairement soit le mode VS, contrairement au briefing effectué, et sans que ce changement ait été signalé. De plus la coïncidence d'un taux de descente égal à 3300 ft/mn et de l'angle de descente de 3,3° envisagé par l'équipage lors de son briefing amène à prendre en compte un facteur conditionnel supplémentaire, à savoir la probabilité que la VS (corrompue) prenne une valeur particulière parmi toutes les valeurs possibles.

Compte tenu de ces éléments, la commission a retenu cette hypothèse, contenue dans la branche 101 011, comme un générateur possible mais très peu probable.

*21.322.3- Défaillance **en aval** de la prise de consigne*

L'examen d'éventuelles défaillances fonctionnelles situées en aval de la prise en compte de la consigne par le FMGC (branche 101 1 de l'arbre des générateurs) fait l'objet du § 117.23.

L'ensemble des examens effectués permet d'affirmer que le plan horizontal réglable et les gouvernes de profondeur étaient à tout instant dans des positions conformes aux ordres d'un pilote automatique qui fonctionne nominalement et pilote les paramètres de la trajectoire effectivement suiviee par l'avion, avec en particulier une cible de vitesse verticale constante et égale à 3300 ft/mn.

Par ailleurs la position des becs et des volets correspondait aux configurations sélectionnées et annoncées par l'équipage, les spoilers fonctionnaient normalement, et le calculateur ELAC2 qui gère la commande de profondeur n'a pas été déclaré en panne.

L'apparition et le maintien d'un taux de descente très élevé ne peut donc pas avoir été provoqué par une défaillance d'un élément de la chaîne de profondeur répertoriée dans la branche 1011 de l'arbre des générateurs.

21.4 - Conclusion sur les hypothèses conservées

21.41- Principes de sélection

Comme l'indiquent les analyses précédentes, cette enquête s'est avérée difficile, et malgré les efforts investis, les éléments disponibles n'ont pas permis de déterminer avec certitude le scénario de cet accident.

Même en se concentrant sur l'explication du seul événement pivot, la commission n'a pas été en mesure d'apporter la démonstration complète de la validité d'une seule hypothèse, à l'exclusion de toutes les autres.

Dans ces conditions, la commission a été amenée à choisir, parmi les hypothèses non réfutées, celles qui lui paraissaient justifier qu'on poursuive une réflexion de sécurité spécifique. Elle a retenu pour cela, d'une part celles qui lui paraissaient les plus probables (sans que les probabilités affectées prétendent représenter mieux que des ordres de grandeur très généraux), et d'autre part celles qui, même dépourvues de ce lien de probabilité élevée avec l'accident, lui paraissaient porteuses d'une interpellation forte vis à vis de principes de sécurité importants.

21.42 - Hypothèses retenues

Dans cet esprit, la commission a retenu les hypothèses suivantes pour ce qui concerne l'explication de l'événement pivot:

21.421 - Hypothèse N°1 :

Le taux de descente anormalement élevé a été commandé involontairement par l'équipage, par suite d'une mauvaise conscience du mode de pilotage automatique vertical.

Après avoir effectué un éloignement et un virage retour sous contrôle radar et en mode HDG, l'équipage a commandé la descente finale en restant en référence HDG-VS, tout en affichant "33" dans la fenêtre FCU:

21.421.1 - variante **1A**: pour descendre sous un angle (FPA) de 3°3, en se croyant en mode FPA, mais en ayant oublié de changer de référence, ou par oubli/erreur sur l'association HDG-VS;

21.421.2- variante **1B**: pour descendre sous un angle (FPA) de 3°3, en se croyant en mode FPA, par erreur de manipulation du bouton de changement de référence (action sur l'inverseur d'unité d'altitude).

La commission considère cette hypothèse N°1 assez probable.

21.422 - Hypothèse N°2:

Le taux de descente anormalement élevé a été commandé involontairement par l'équipage, par suite d'une conscience erronée de la signification des chiffres affichés.

Après avoir effectué un éloignement et un virage retour sous contrôle radar et en mode HDG, l'équipage a commandé la descente finale en décidant de rester en référence HDG-VS, et en affichant "33" dans la fenêtre FCU parce que c'était la valeur à afficher déterminée lors du briefing.

La commission considère cette hypothèse N°2 assez probable.

21.423 - Hypothèse N°3:

Le taux de descente anormalement élevé résulte :

21.423.1- variante **3A** : d'une défaillance du FCU (mauvais fonctionnement du bouton poussoir de sélection de référence);

21.423.2- variante **3B** : d'une défaillance de la chaîne de transmission de la valeur de consigne au FMGC.

La commission considère cette hypothèse N°3 très peu probable.

21.5 - Reconstitution du scénario le plus probable

Le paragraphe qui suit établit la séquence des événements significatifs qui aboutit à l'accident. Cette séquence comporte évidemment l'événement pivot, avec les éclairages des différentes hypothèses explicatives retenues au paragraphe 21.4. Elle comporte également d'autres événements reliés à l'accident par des relations de causalité plus ou moins fortes et directes, concernant par exemple la trajectoire latérale, ou la charge de travail. Elle comporte enfin des éléments de pur contexte: environnement, circonstances, coïncidences, etc.

21.51 - La préparation du vol

Le vol de l'accident a été précédé d'un vol Orly-Lyon. Sa préparation a été commencée à Orly et complétée lors de l'escale de Lyon. Dans les deux cas, selon les éléments recueillis par l'enquête, les procédures qui ont été suivies par l'équipage sont conformes à celles prévues par la compagnie.

A Lyon un témoin a vu l'équipage manger. Les deux pilotes ont pris au moins partiellement leur repas.

Le éléments recueillis par l'enquête laissent supposer que l'équipage a introduit dans le FMS une COROUTE "LYSSXB", une arrivée ILS 23.

21.52 - Le début du vol

Le décollage de Lyon-Satolas est effectué à 17h39mn5Os en piste 36. Le commandant de bord est le pilote en fonction (PF). A 17h41mn01s, la fréquence ILS bascule de 110.7 Mhz (fréquence de l'ILS de la piste 36 de Lyon-Satolas) à 110.1 Mhz (fréquence de l'ILS de la piste 23 de Strasbourg). Cela signifie que l'approche ILS 23 avait été programmée sur le FMS avant le décollage. La fréquence ADF de la radiobalise SE de Strasbourg est affichée en atteignant le niveau de vol 180. La croisière est effectuée à ce niveau de vol, pilote automatique N°1 (AP1) engagé. La vitesse indiquée est de 327 Kt, ce qui correspond à la vitesse managée pour ce niveau de vol et un cost index de 55 (valeur prévue par Air Inter).

Le contact est établi avec Reims Contrôle à 17h53mn55s. Le contrôleur indique à l'équipage "procédez Luxeuil et arrivée standard pour Strasbourg" et le copilote collationne. Il existe en fait deux trajectoires d'arrivée susceptibles de cette appellation: la trajectoire LUL-ANDLO-STR et la trajectoire LUL-OBORN-SE.

21.53 - La préparation de l'arrivée: la stratégie ILS 23

A partir de 17h56mn38s, le copilote écoute l'ATIS de Strasbourg sur la demande du commandant et l'informe à 17h57mn13s de la piste effectivement en service : "c'est la zéro cinq en service". L'ATIS indique la piste en service mais ne précise pas de procédure en vigueur. Le commandant questionne le copilote : "la zéro cinq? Qu'est-ce qu'ils passent comme vent?" et n'obtient pas de réponse. Il reprend: "tu me passe notre météo? Qu'est-ce qu'ils passent comme plafond, là?". Le copilote lui répond sans certitude (" huit huitièmes à trois mille, il faudrait que je le reprenne"). Il est probable que le commandant lit alors les notes prises par le copilote lors de sa première écoute de l'ATIS.

A 17h57mn57s (temps QAR 1705), la piste 05 est insérée au MCDU, comme en témoigne l'enregistrement QAR (disparition de la fréquence ILS 110.1 Mhz). Cette insertion n'est pas annoncée. Compte tenu des dialogues, on peut penser que le copilote a inséré une arrivée VOR 05 sur la page F-PLN (Flight Plan) du MCDU et a renseigné la page PERF APPR (performances en phase d'approche).

A 17h58mn48s, le commandant commente la valeur du vent (du zéro cinquante degrés) que vient de lui confirmer le copilote : "dix huit noeuds...ah! pas de chance". Il demande alors au copilote de lui indiquer la valeur des minimums pour la piste 05. Celui-ci lui annonce les minimums correspondant à l'approche VOR/DME 05. Le commandant précise sa question: "Est-ce qu'il y a une MVL dessus?" (MVL : manoeuvre à vue libre). Le copilote lui annonce alors les minimums de l'approche indirecte : "MVL de nuit (...) huit cent cinquante pieds et deux mille huit cents mètres".

Les conditions annoncées par l'ATIS (trois huitièmes à onze cents pieds, dix kilomètres de visibilité) sont meilleures que ces minimums. A 18h56s, le commandant décide : "on essaiera en fonction du trafic de faire une percée ILS". Il décrit la procédure d'approche indirecte en piste 05 par ouverture à droite à l'issue de la percée ILS, et évoque les justifications de son choix : "si on fait la procédure zéro cinq ... eh bien on ... (sifflet)". Il demande l'insertion des minimums de la procédure d'approche indirecte et corrige l'action du copilote en précisant qu'il s'agit d'une MDH (Hauteur Minimum de Descente).

A 18h01mn45s, le commandant poursuit : " tu vois, je vais mettre la vingt trois, sinon j'pourrai pas faire la percée ILS, moi! j'remets la vingt trois hein?". Devant l'interrogation du copilote - "tu mets la vingt trois?" il confirme : " oui! ça y est... pour faire l'arrivée ILS". Au même instant, l'avion passe à la verticale du VOR de Luxeuil (LUL), et vire au cap 043° vers le point de report OBORN. Dix secondes plus tard, la fréquence de l'ILS de Strasbourg réapparaît sur l'enregistrement QAR : la piste 23 a donc été réinsérée au MCDU en remplacement de la piste 05. Le commandant effectue le briefing arrivée pour une arrivée ILS 23. La fréquence du VOR 1 passe sur 115.6 MHz, fréquence du VOR STR de Strasbourg. A 18h02mn33s et pour une minute environ, le ND1 passe du mode ARC NAV 80NM en mode PLAN : cela correspond très certainement à la vérification par le commandant de la programmation du plan de vol jusqu'à la remise de gaz, comme le prévoient les procédures d'Air Inter.

Dans les secondes qui suivent, le copilote dit "j'comprends pas pourquoi tu ne tentes pas quand même une zéro cinq VOR DME". La question laisse supposer qu'il se réfère à une approche VOR DME 05 directe, mais cela n'est pas clairement exprimé. Le commandant lui répond en se référant à la procédure VOR DME complète : "parce que la VOR DME, il faut arriver ici, partir... aller aux cent mille diables et revenir.... donc on aura aussi vite fait de...". Puis il poursuit : "sinon il faut s'éloigner à onze STR, ça fait onze vingt deux nautiques...c'est parti pour dix minutes de vol en plus là hein...c'est pour ça... que...". Le copilote approuve en apparence : "ouais, faut faire un...".

A 18h04mn15s (temps QAR 2083) le VOR 2 est forcé sur la fréquence 115.6 MHz de STR. Il est probable que ce soit le commandant lui-même qui effectue cet affichage, car 54 secondes plus tard il dit au copilote qui identifiait la balise d'arrivée SE : "je t'ai mis l'axe retour sur STR hein... zéro cinquante".

21.54 - La descente et la trajectoire ANDLO

A 18h05mn29s le commandant débute la procédure de mise en descente, qu'il prévoit pour 18h08. Sur demande du copilote au contrôle, l'avion est autorisé à descendre au niveau 130. A 18h06mn27s, le contrôle demande à l'équipage de mettre le cap sur ANDLO. Ce point ne figure pas dans le plan de vol pour une arrivée standard ILS 23, et n'est donc pas présenté sur l'écran de navigation. S'étant fait confirmer l'instruction du contrôle par le copilote, le commandant dit : " ANDLO, oh là ils me cassent les pieds avec leur truc là...".

L'avion vire à droite vers ANDLO (ou peut-être SE) avec le cap 053° que le contrôleur demande de maintenir jusqu'à nouvel avis (pour les besoins d'une séparation avec un aéronef au départ). Le copilote commente négativement cette restriction. A 18h07mn24s, le contrôle délivre une nouvelle autorisation vers le niveau 70. Le copilote collationne en disant : " on poursuit la descente vers le niveau 70" . En fait, l'avion n'a pas encore quitté le niveau de croisière: la descente débute deux secondes plus tard.

D'après les coordonnées FMGS, l'avion est à alors 22,9 NM d'ANDLO. Le copilote annonce l'engagement du mode IDLE/OPEN DESCENT conformément aux procédures de la compagnie, mais le niveau sélecté n'est pas annoncé. La vitesse régresse jusqu'à 315 kt environ, ce qui semble être une valeur de vitesse managée, et ce qui montre que le mode EXPEDITE n'a pas été utilisé.

A 18h08mn56s, la restriction de cap est levée et l'avion est transféré sur la fréquence de l'approche de Strasbourg.

21.55 - L'arrivée sous le contrôle de l'approche de Strasbourg

Au premier contact, le contrôleur d'approche de Strasbourg demande à l'avion de se diriger sur ANDLO, et sur l'énoncé de sa distance (22NM de STR), l'autorise à descendre à 5000ft au QNH. Il ne précise pas la piste en service, n'évoque pas la procédure d'approche qui sera exécutée, et ne délivre pas d'autorisation après ANDLO. L'équipage ne l'interroge pas sur la route à suivre après ce point. Par ailleurs, le strict respect de l'autorisation du contrôle, demandant de passer ANDLO à 5000ft, nécessitait d'augmenter la pente de descente. Cette correction n'a pas été apportée, et rien n'indique que l'équipage se soit posé ce problème. Cela semble indiquer qu'il ne considère pas cette instruction comme remettant en cause la stratégie d'approche ILS 23.

A 18h09mn52s (temps QAR 2420) l'avion passe le niveau 115 en descente et sa vitesse indiquée atteint sa valeur maximum (322 Kt) pour régresser ensuite jusqu'à 254 Kt au niveau de vol 97, très probablement suite à l'activation automatique de la contrainte de vitesse à 250 Kt maximum au-dessous du niveau 100. L'équipage effectue la vérification croisée des altimètres après les avoir réglés sur le QFE. Lors de cette vérification le copilote détecte une erreur d'affichage commise par le commandant (1008 affiché au lieu de 1005 annoncé) et l'erreur est corrigée. La check-list "approche initiale" est lue par le copilote de sa propre initiative (la procédure Air Inter prévoit qu'elle doit être demandée par le pilote en fonction, c'est à dire ici le commandant).

A 18h11mn32s (temps QAR 2520), l'avion passe travers ANDLO à 9480ft QNH. La vitesse est de 257 Kt et va progressivement augmenter (jusqu'à 312 Kt), ainsi que le taux de descente. Le commandant de bord a probablement supprimé la contrainte de vitesse (250 Kt/FL100) : il n'y avait pas, à ce sujet, de consigne Air Inter ni de contrainte réglementaire à Strasbourg à l'époque de l'accident. A 18h11mn42s le copilote annonce au contrôle : "on passe ANDLO". L'avion est à 9,6 NM sur le relèvement 054° de STR. Le contrôleur répond : "...vous êtes numéro un pour la VOR DME zéro cinq, rappelez le VOR en finale". C'est la première fois que la procédure attendue - une approche VOR DME 05 - est évoquée par le contrôle. Cette évocation reste cependant interprétable de deux façons par l'équipage : une approche directe, ou une procédure complète. Le fait de demander à l'avion de rappeler en passant le VOR en finale suggère qu'on ne s'attend pas à ce qu'il décrive toute la procédure, mais n'interdît pas qu'il le fasse. L'avion est alors à 8,6 NM de STR, soit 11 NM du seuil de piste, sa vitesse est de 292 Kt et son altitude de 7600ft : dans ces conditions la procédure d'approche directe n'est plus réalisable.

A 18h12mn05s (temps QAR 2553), le mode SPEED (acquisition et maintien de la vitesse cible par l'auto-poussée) et le mode ALT STAR (capture de l'altitude cible) sont engagés. La vitesse verticale est de -4800 ft/mn. Le N1 commandé augmente progressivement, et la vitesse également. La vitesse cible devait être de l'ordre de 310 Kt, car la vitesse atteindra 312 Kt à 18h12mn26s pour régresser ensuite.

A 18h12mn11s, le copilote propose: "on pourrait lui demander de confirmer le plafond maintenant, (...)

nautiques?", suggérant peut-être ainsi que l'on donne suite à l'autorisation du contrôle en effectuant une approche VOR DME directe.

Soit qu'il ait compris ainsi la réponse du copilote, soit qu'il réponde directement à l'autorisation du contrôle, le commandant objecte : "dix nautiques ... ça passe pas, dis lui, on va faire un ...". Cependant le copilote demande au contrôle de lui confirmer le plafond, comme il l'avait lui-même suggéré. A la réponse du contrôle (trois huitièmes à mille cent pieds et six huitièmes à deux mille six cent pieds), le commandant commente : "c'est bon", ce qui signifie vraisemblablement: ces conditions permettent d'effectuer une approche ILS 23 suivie d'une manoeuvre à vue pour la piste 05. Le copilote transmet la décision du commandant au contrôle à 18h12mn29s : "ouais, on envisagerait de procéder SE de faire un ILS avec une indirecte pour la zéro cinq ensuite". C'est la première fois que l'intention de l'équipage est clairement explicitée au contrôle.

Pendant cet échange, les N1 commandés et réels ont décru vers IDLE (ralenti), ce qui correspond très probablement à la sélection d'une nouvelle vitesse cible (260 Kt) par le commandant. Cette sélection n'est pas annoncée.

A 18h12mn34s (temps QAR 2582), un gong (single stroke chime) retentit, la page PRESS est présentée à l'ECAM, et un message ACARS est enregistré : il s'agit de l'alarme "LO DIFF PRESS", activée suite au taux de descente élevé. Le commandant demande l'effacement de l'alarme : l'avion étant sur le point de se stabiliser à 5000 ft, il n'existait aucun risque que la cabine passe en dépression.

A 18h12mn45s, le commandant demande la température au copilote. La réponse est interrompue par un message du contrôle qui indique à l'équipage que compte tenu de la procédure qu'il envisage, il risque de devoir effectuer une attente pour permettre trois décollages en piste 05. Aucun délai d'attente n'est indiqué. Le commandant décide alors de changer sa stratégie, abandonnant son projet d'approche ILS 23 pour celui d'une approche VOR DME 05. Cette décision est notifiée au contrôle qui l'accepte.

A 18h13mn10s, le commandant dit : "on va pas s'amuser à descendre comme ça en india mike; s'ils avaient prévenu à l'avance, mais là, on arrive plein pot" (india mike : conditions météorologiques de vol aux instruments). Ce commentaire s'adresse indirectement au contrôle, et peut-être également au copilote. Il justifie son refus antérieur d'effectuer la procédure VOR DME 05 directe autorisée par le contrôle, et qui aurait impliqué un taux de descente incompatible avec la conduite normale d'une procédure d'approche en IMC.

21.56 - L'éloignement

A 18h13mn28s, alors que l'avion approche de STR, le contrôleur propose à l'équipage un guidage radar pour le ramener sur ANDLO en lui évitant d'effectuer toute la procédure d'éloignement et de virage retour. Le commandant accepte la suggestion. L'avion passe au travers nord de STR, à 5025 ft QNH (temps QAR 2646). Sa vitesse est stabilisée à 260 Kt. Le contrôleur lui assigne un nouveau code transpondeur (le code 6100) afin de l'identifier comme aéronef à l'arrivée, ainsi que le cap 230° par la gauche. L'équipage engage le virage à gauche probablement en sélectant une nouvelle valeur de cap, et sélecte une nouvelle vitesse cible (250 Kt). Le mode ALT de maintien d'altitude s'engage. Ni la nouvelle valeur de cap sélectée, ni l'engagement du mode ALT ne sont annoncés, contrairement aux consignes de la compagnie.

A 18h13mn52s, le commandant dit : " j'te remets la zéro cinq", et treize secondes plus tard la fréquence de l'ILS de la piste 23 est désélectée (temps QAR 2673). Cela signifie que l'équipage a très probablement introduit une arrivée VOR 05 dans le FMGS. L'enquête (en particulier l'étude au simulateur rapportée au § 1.17.7) n'a pas permis de déterminer le type d'arrivée inséré (NO STAR, ou STAR LUL 05, ou VIA SE, ou NO VIA). Compte tenu de son annonce précédente, c'est probablement le commandant qui a effectué l'essentiel des procédures d'insertion. Compte tenu des résultats des simulations évoqués au § 1.17.7, l'insertion de la piste 05 après le passage de STR a très probablement provoqué l'affichage de l'axe de piste et de points de navigation, notamment STR07 (7NM STR) et peut-être ANDLO.

A 18h14mn12s (temps QAR 2680), une réduction du N1 commandé indique qu'une nouvelle vitesse cible (de l'ordre de 215/220 Kt) est sélectée. Le commandant effectue ensuite le briefing correspondant à la nouvelle procédure d'approche envisagée. Il indique notamment le point de début de descente à 11NM de STR, qu'il semble percevoir comme différent de ANDLO : "on repasse par ANDLO sur l'axe et on libère à 11 STR". Il rappelle les hauteurs de passage à 9NM et 7NM sans mentionner explicitement qu'il s'agit de hauteurs

minimales, et ne mentionne pas la hauteur de passage à STR.

A 18h15mn04s l'ACARS transmet un message indiquant que le HUD vient d'être mis sous tension.

A 18h15mn06s le contrôleur annonce à l'équipage sa position: "six nautiques radial deux cent quatre vingt-dix de Strasbourg". Cette position ne correspond pas avec la position de l'avion telle qu'elle a été déterminée par l'enquête : à cet instant le F-GGED est à 4,5 NM sur le radial 340° de STR, et à 4,5 NM sur le radial 301° du radar de Strasbourg. Les recherches effectuées concernant la trajectoire et rapportées au § 1.17.8, ainsi que la note technique concernant les trajectographies radar figurant en annexe 11, permettent d'expliquer cette différence, qui n'excède pas l'imprécision de la chaîne radar.

Poursuivant son briefing pour l'approche VOR DME, le commandant rappelle l'axe de percée et convertit (correctement) la pente de descente portée sur la carte (5,5%) en angle de descente (3,3°). Il n'a pas été possible de déterminer si la nouvelle MDH a été insérée sur la page PERF APP. Elle n'a pas été rappelée dans cette phase de vol.

A 18h15mn31s, l'avion atteint le cap 230° et débute son éloignement. Sa vitesse est de 223 Kt. L'équipage met en service l'anti-givrage des entrées d'air et le dégivrage des ailes. Il critique l'absence de détecteur de givrage et la conversation enregistrée sur le CVR à ce propos laisse penser qu'il vérifie avec une lampe torche le témoin de givrage extérieur. Une augmentation du N1 commandé suivie d'une augmentation de vitesse jusqu'à 230 Kt indique une très probable augmentation de la vitesse sélectée.

A 18h16mn22s le commandant justifie à nouveau que la percée directe VOR DME 05 ne pouvait pas être réalisée dans les conditions d'arrivée à ANDLO : " C'est la merde hein! quand t'es pas prêt le temps d'arriver à cinq mille pieds sur ANDLO plein pot...euh...ça passe pas hein... En plus...à...quoi...dix nautiques de la finale".

21.57 - Le virage retour et la mise en descente

A 18h17mn49s le contrôle donne une instruction de virage à gauche vers le cap 090°. Le virage débute quatre secondes plus tard. Les recherches effectuées sur le mode de pilotage vertical et rapportées au § 117.5 montrent que le pilote automatique était presque sûrement en référence HDG-VS, et qu'il sera conservé jusqu'à l'accident. La procédure Air Inter d'approche classique (synoptique 129.15.01 du manuel d'exploitation Air Inter) demande qu'avant le virage de procédure, le mode TRK-FPA soit sélecté. Il est possible que pour respecter plus facilement les instructions de contrôle en cap, le commandant ait décidé de différer le changement de HDG-VS en TRK-FPA.

Deux secondes après le début de virage, le ND1 passe de ARC NAV/20 NM en ROSE VOR (temps QAR 2903). Une nouvelle valeur de vitesse sélectée se traduit par une diminution du N1 commandé et une stabilisation de la vitesse à 180 Kt. Vingt-quatre secondes après le début du virage, le commandant demande la sortie des volets en configuration 1, et quinze secondes plus tard le copilote annonce la configuration 1 établie.

A 18h18mn37s, alors que l'avion est au cap 143°, soit sensiblement au cap perpendiculaire à l'axe d'approche finale, le contrôle lui donne l'instruction de poursuivre le virage à gauche pour s'établir sur le relèvement 051° de STR et lui indique sa position actuelle : "quatre nautiques d'ANDLO ... travers gauche d'ANDLO". La position de l'avion relevée à cet instant sur la trajectoire de synthèse le situe à 3,8 NM d'ANDLO, ce qui est tout à fait conforme avec cette information. Le copilote accuse réception. Les recherches effectuées sur le mode de pilotage vertical et rapportées au § 1.17.5 montrent que le cap sélecté alors était probablement le 051°.

A 18h18mn51s (temps QAR 2959), le commandant sélecte le mode ARC NAV (échelle 20 NM) pendant environ dix secondes, probablement pour mieux visualiser la géométrie d'interception de l'axe d'approche finale.

Le VOR STR est vu à cet instant sous le relèvement 060° et le cap est déjà au 110°. Le virage est trop serré et la trajectoire suivie ne peut pas amener l'avion sur l'axe d'approche finale à ANDLO. A 18h19mn01s, le copilote l'annonce : "On va ... (t'es intérieur) là hein!". Deux secondes plus tard, le commandant revient à une représentation ROSE VOR sur son ND (temps QAR 2971). Les procédures Air Inter recommandent cette

présentation sur le ND du pilote aux commandes si la navigation du FMGS est déclarée en LOW ACCURACY ou lorsque les informations brutes ne correspondent pas à la géométrie présentée sur le ND. Ce choix, qui offre une présentation très proche de celle des instruments conventionnels, pouvait également résulter d'une préférence conjoncturelle du commandant.

A 18h19mn15s le copilote renouvelle son annonce : "...t'es (intérieur) là hein! il aurait fallu q'tu ouvres au zéro sept zéro". Le commandant répond "ouais ouais" et sélecte le nouveau cap 066° (voir § 117.5). Le copilote ajoute immédiatement "au moins". L'avion arrive au cap 052° et repart immédiatement en virage à droite vers le cap 066°.

A 18h19mn23s le contrôle autorise l'avion à l'approche finale et indique qu'il passe le travers droit d'ANDLO. Cette ambiguïté - vu de l'avion, il s'agit du travers gauche - n'est pas relevée par l'équipage.

A 18h19mn30s (temps QAR 2998), le commandant demande la sortie des volets vers la position 2 et pendant que le copilote l'exécute, il modifie (à 18h19mn32s) le cap sélecté et affiche 071°. Le QAR enregistre le début de la sortie des volets vers la position 2 à 18h19mn33s.

21.58 - La descente

L'avion poursuit son virage vers le cap 071°.

A 18h19mn38s (temps QAR 3006), à 11,2 NM de STR et sur le relèvement 060° de STR, le mode ALT est dégagé. L'auto-poussée reste en mode SPEED, ce qui signifie que le mode de descente est soit VS, soit FPA. Les recherches effectuées (voir § 1.17.5) montrent que le mode de descente était presque sûrement VS.

L'analyse résumée au § 21.4 ci-dessus n'ayant pas permis d'affirmer un seul scénario générateur de cette mise en descente, il faut rappeler ici les hypothèses conservées:

1 - le commandant affiche "3.3" comme valeur de consigne dans la fenêtre FCU en ayant oublié de changer la référence HDG-VS en référence TRK-FPA (ou en oubliant que les modes HDG et VS sont liés), ou il veut changer de référence, mais il appuie par erreur sur le bouton poussoir identique destiné au changement d'unité d'altitude, et croit avoir changé de référence;

2 - le commandant entend conserver le mode VS, mais il affiche machinalement "3.3" dans la fenêtre FCU, c'est à dire la valeur qu'il avait déterminée lors de son briefing d'approche;

3 - le commandant effectue correctement l'action de changement de référence, mais celle ci n'est pas prise en compte par le FCU suite à une défaillance du bouton poussoir, ou la valeur sélectée, correctement affichée, est corrompue avant sa prise en compte par le FMGC. (La commission considère très peu probable cette dernière hypothèse).

A l'instant de cette mise en descente, l'avion est sur le relèvement 060° de STR (relèvement mesuré sur la trajectoire dite "de synthèse"). Il se situe donc sur une trajectoire décalée d'environ 9° par rapport à l'axe d'approche nominal, et ceci est donc l'ordre de grandeur de l'écart indiqué à cet instant par une instrumentation de bord fonctionnant correctement.

Dans tous les cas, les changements de mode affichés au FMA (dégagement du mode ALT) ne sont pas annoncés. La mise en descente s'est effectuée avec un facteur de charge moyen de 0,86 à 0,88g (soit une variation de facteur de charge de -0,12 à -0,14g), qui correspond à une autorité augmentée du pilote automatique, déclenchée par le fait que la vitesse verticale a dépassé + 500 ft/mn suite à la sortie des volets alors que la descente avait été commandée.

A 18h19mn42s (temps QAR 3010), le commandant demande la sortie du train et le copilote exécute la manoeuvre. Deux secondes plus tard le cap 070° est atteint. A 18h19mn48s, soit dix secondes après le dégagement du mode ALT, la vitesse verticale devient négative. Le contrôleur demande de rappeler en passant le VOR en finale.

A 18h19mn53s, soit quinze secondes après le dégagement du mode ALT, le variomètre indique une vitesse

verticale de -1000 ft/mn en augmentation. A 18h19mn56s le train d'atterrissage est verrouillé bas sans annonce "GEAR DOWN LOCKED" de la part du copilote, qui vient de terminer un message radio au contrôle, et consulte probablement la fiche de percée. La page WHEEL est présentée à l'ECAM. Sur le PFD l'indication analogique du variomètre arrive en butée (-2000 ft/mn) et devient ambre, ainsi que l'indication numérique de vitesse verticale, et le resteront jusqu'à l'accident. La vitesse verticale se stabilise à environ -3300 ft/mn vers 18h20mn.

La vitesse indiquée commence à croître, par suite de la forte vitesse verticale, bien que le mode SPEED soit engagé. En effet les moteurs sont déjà au régime de ralenti vol correspondant à la configuration de l'avion, et les seuils d'action de la protection (par réversion vers le mode OPEN DESCENT ou OPEN CLIMB selon l'altitude sélectée au FCU) de la vitesse limite dans la configuration volets 2 ne sont pas dépassés (VFE = 200 kt; réversion pour une vitesse supérieure ou égale à VFE + 4 Kt).

L'avion passe sous le plan nominal de descente (3°3) à 18h20mn05s. A cet instant l'assiette longitudinale est de 7° à piquer, l'avion accélère et la flèche de tendance de vitesse pénètre dans le bandeau VFE correspondant à la configuration volets en position 2. A 18h20mn09s, le commandant prend conscience de la forte valeur de la vitesse indiquée (192 Kt) et sort progressivement les aérofreins pour contrer l'accélération de l'avion et réduire la vitesse pour pouvoir poursuivre la sortie des hypersustentateurs. Rien n'indique que l'équipage ait perçu cette augmentation de la vitesse comme une anomalie véritable.

A 18h20mns10s le copilote indique la hauteur de passage de STR : " nous devons (l'passer) huit cent pieds". Cette annonce est prévue par les procédures de la compagnie pour la surveillance du plan de descente. Par contre la hauteur minimale à 9 NM STR et la hauteur minimale à 7 NM STR ne sont pas rappelées. L'avion se trouve à cet instant à 9,4 NM de STR et à environ 150 ft au-dessous du profil de descente.

A 18h20mn19s (temps QAR 3047), l'avion est à 9 NM de STR et à environ 550 ft au-dessous de l'altitude minimum définie pour cette distance. Rien n'indique que l'équipage ait, à cet instant, effectué le contrôle altitude/distance.

A 18h20mn21s le commandant dit : "faut faire attention qu'il ne descende pas". Si ce commentaire concerne l'avion, cela indique qu'il se préoccupe alors de la situation dans le plan vertical. L'écart est de l'ordre de 5OO ft. Le commandant ne prend pas conscience du taux de descente, car il serait alors inexplicable qu'il ne réagisse pas immédiatement. L'interruption du copilote qui annonce "sur l'axe" ramène probablement sa préoccupation prioritaire sur le plan latéral.

A 18h20mn22s le commandant commence à rentrer progressivement les aérofreins. Le copilote poursuit son observation relative à l'interception de l'axe : "On arrive sur l'axe! ... un demi point de l'axe. Là, voilà il a été au soixante c'est bon tu vois ici". L'avion est à 8,7 NM de STR sur le relèvement 056°. Il débute un virage à gauche pour intercepter le relèvement 051° de STR. Cette annonce du copilote et cette sélection d'un nouveau cap par le commandant attestent d'un suivi attentif de la navigation horizontale par les deux pilotes.

A 18h20mn36s la radiosonde annonce "TWO HUNDRED".

Une seconde plus tard, incliné à gauche de 12° pour interception de l'axe d'approche finale, l'avion percute le mont La Bloss à la vitesse de 190 Kt, sur une trajectoire de descente d'environ 11°. Il est en configuration 2 (becs 22° et volets 15°), train sorti, spoilers rentrés. Les manettes de poussée sont restées dans le cran CLIMB. Sur les parties du QAR qui ont pu être exploitées, il apparaît que les manches pilote et copilote sont restés au neutre. Enfin le pilote automatique est resté engagé au moins jusqu'à la seconde précédant l'impact, comme en témoigne l'absence d'alarme de déclenchement sur le CVR.

Il n'y a donc eu ni tentative de remise de gaz, ni tentative de reprise en main par l'équipage.

CHAPITRE 2.2 - ANALYSE DES MECANISMES DIRECTS DE L'ACCIDENT

L'objectif principal de ce chapitre est d'analyser, d'une part dans le fonctionnement des systèmes techniques, et d'autre part dans les comportements des acteurs qui sont directement intervenus sur le vol du F-GGED (c'est à dire les pilotes et le contrôleur), les composantes qui ont pu affecter la sécurité du vol. Le but de cette analyse est de tenter d'en comprendre les mécanismes sous-jacents.

Note : pour ce qui concerne les comportements des opérateurs humains, cette analyse fait appel à des connaissances ou à des modèles de compréhension appartenant aux différents domaines de la psychologie. Ont plus particulièrement servi de référence les travaux des auteurs suivants:
René Amalberti, CERMA, Brétigny, France;
Lisane Bainbridge, University College London, Angleterre;
Robert Helmreich, NASA/UT, Austin University , Texas , USA;
Erik Hollnagel, Computer Resources International, Danemark;
Véronique de Kaiser, Université de Liège, Belgique;
Jacques Leplat, Ecole Pratique des Hautes Etudes, France;
Jens Rasmussen, RISO National Laboratory, Danemark;
James Reason, Université de Manchester, Angleterre;
David Woods, Westinghouse Research & Development Center, USA;

22.1 - Défaillances techniques

L'enquête a montré (voir chapitre 2.1) que les seules défaillances techniques qui ont pu se produire et qui auraient pu conduire ou contribuer à l'accident concernent le système de pilotage automatique et le système de radionavigation VOR.

22.11 - Analyse d'un dysfonctionnement du système de pilotage automatique

Les points suivants ont été établis :

- La mise en descente et les paramètres de cette descente ont été commandés au calculateur FMGC1 (pilote automatique) par action de l'équipage sur des boutons du bandeau FCU.

- L'hypothèse d'une corruption d'un paramètre de fonctionnement du pilote automatique localisée dans la chaîne des commandes de vol (systèmes ATA 27) a été réfutée (voir § 117.23).

- L'hypothèse d'une corruption du paramètre de descente lors de son transfert depuis le FCU vers le FMGC1 n'a pas pu être réfutée. Pendant la durée de l'enquête, trois occurrences d'une telle corruption ont été formellement constatées sur un même avion et un même équipement. L'investigation de cet événement a permis de mettre en évidence son mécanisme : un défaut d'une mémoire RAM du FCU, qui se traduit par une corruption du paramètre de descente sélecté par le pilote.

L'expérience connue en service indique par conséquent une fréquence d'occurrence de l'ordre de 10^{-6} par heure de vol pour ce cas de dysfonctionnement du FCU, identifié comme une corruption de la valeur de consigne de descente sélectée au FCU, non détectée par le système, et provoquant une stabilisation de la vitesse verticale à une valeur différente de celle voulue par le pilote.

Bien que cette fréquence soit faible et que la commission ait par ailleurs considéré comme très peu probable qu'un tel événement soit à l'origine de l'accident du F-GGED, la commission a estimé justifié d'en faire le point de départ d'une réflexion sur la certification des pilotes automatiques (cf § 23.31).

En effet, les trois hypothèses de scénario retenues par la commission comportent un élément commun important: l'équipage n'a pas détecté l'anomalie majeure de trajectoire survenue dans le plan vertical après la mise en descente. De ces trois hypothèses, celle dans laquelle l'équipage aurait sélectionné une référence de trajectoire et une valeur cible convenables, mais aurait été confronté à une réponse anormale de l'avion dans le plan vertical, est, selon la commission, celle où la difficulté de détection de l'anomalie aurait été la plus grande.

22.12 - Hypothèse d'une anomalie des indications VOR

22.121 Anomalie ayant pour origine les systèmes embarqués

La commission a examiné l'hypothèse qu'un dysfonctionnement des systèmes VOR embarqués soit intervenu pendant la phase d'interception de l'axe d'approche.

La mémoire non volatile du BITE de l'un des deux équipements VOR a pu être lue et exploitée par

l'équipementier Collins. Une anomalie a été enregistrée par le BITE au cours du dernier vol, mais il a été démontré au paragraphe 117.3 que cette anomalie ne pouvait pas avoir produit des informations VOR erronées.

Cependant, compte tenu des circonstances dans lesquelles s'est déroulé l'alignement de l'avion sur l'axe d'approche VOR, le phénomène de "battements d'indications VOR" signalé sur A320 depuis sa mise en service a été pris en considération.

La révision temporaire (TR N°124) du manuel de vol, datée de juillet 1991, préconisait d'effectuer les procédures VOR en mode NAV sur l'écran de navigation, la sélection des informations primaires de navigation VOR n'étant alors effectuée que dans un but de surveillance. Toujours selon les termes de cette révision, si l'approche VOR était impossible en utilisant le mode NAV des écrans de navigation, il serait alors possible de l'effectuer en exploitant les indications VOR uniquement, à condition que les éventuelles oscillations d'indications ne soient pas supérieures à +/- un demi point (soit 2,5°). Dans le cas où des oscillations d'amplitude supérieure seraient constatées en conditions de vol aux instruments, la procédure demandait qu'une remise de gaz soit effectuée.

A l'époque de l'accident, le manuel d'exploitation des A320 d'Air Inter comportait dans la rubrique "procédures normales, approche classique" l'indication suivante : "lorsqu'une approche VOR ou VOR/DME est effectuée en mode sélecté, les informations raw data ne doivent pas être considérées comme exploitables si des oscillations supérieures à 1/2 point sont constatées. Une procédure de remise de gaz doit être effectuée si les références visuelles sont insuffisantes."

22.122 - Anomalies ayant pour origine les systèmes sol

Pour ce qui est du vol de l'accident, les problèmes d'interception résultent notamment des sélections de caps effectuées dans le début du processus de capture (cap 051 sélectionné au FCU alors que l'avion est au cap 143). La commission s'est demandé si cette sélection avait pu être provoquée par une information VOR incorrecte.

La commission a noté (voir § 21.211.1):

- que le CVR ne donne aucune indication que des battements aient été remarqués par l'équipage;
- que les informations VOR disponibles étaient de qualité suffisante pour que le copilote détecte convenablement le problème de capture de l'axe et indique les corrections adaptées;
- qu'en revanche dans les trente dernières secondes de descente environ, les annonces d'écart par rapport à l'axe VOR effectuées par le copilote, rapportées à la trajectoire réelle, suggèrent une perturbation des informations VOR.

22.123 - Conclusion

En ce qui concerne la contribution à l'accident de possibles anomalies d'indication VOR, la commission a finalement considéré comme très improbable qu'il se soit produit des battements dûs à l'installation de bord, et comme assez probable qu'il se soit produit des oscillations dues à la perturbation du signal sol entre 9NM et 8NM de STR, d'autant que l'avion se trouvait sur une trajectoire anormalement basse. De plus, quelle que soit l'origine de ces oscillations ou battements éventuels, la commission a considéré qu'ils n'auraient pas pu contribuer directement à l'anomalie du taux de descente. Elle a conclu que de tels phénomènes auraient pu constituer un facteur contributif, en augmentant la charge de travail de l'équipage dans la phase de capture de l'axe d'approche. Elle a pris note de la correction technique apportée au problème d'origine bord, et n'a pas estimé nécessaire de poursuivre sa réflexion sur ce sujet.

22.2 - Niveau professionnel de l'équipage

22.21 - Commandant de bord

A l'examen de son dossier de progression, le commandant de bord possédait des aptitudes au pilotage de niveau plutôt moyen. Elles lui ont globalement permis d'apprendre le métier de pilote de ligne au prix d'une durée d'instruction plus importante que la moyenne. Les conditions d'exercice de son début de carrière de pilote ne lui ont pas facilité l'acquisition d'une bonne structure de travail. Il a éprouvé quelques difficultés dans la phase initiale de son stage de pilote de ligne. Par la suite, il a fait des progrès et les résultats des derniers stages de formation effectués indiquent qu'il avait acquis une structure de travail et une maturité professionnelle de bon niveau. A l'issue de son stage commandant de bord, il a atteint le niveau de performance correspondant au standard commandant de bord dans la compagnie Air Inter.

Son expérience globale de 8800 heures en faisait un pilote expérimenté, ancien dans la compagnie, et connaissant parfaitement le réseau. Son expérience récente était de 112 heures dans les trois derniers mois, 38 heures au cours du dernier mois, 3 heures 30 minutes dans les 24 dernières heures.

Il avait subi en 1990 et 1991 les entraînements et contrôles périodiques requis par la réglementation. Ces contrôles avaient donné lieu à des appréciations de niveau professionnel favorables.

Son stage de qualification de type sur A320 et son adaptation en ligne se sont effectués conformément aux programmes approuvés ou déposés et n'ont donné lieu à aucune mention de problème particulier.

22.22 - Copilote

22.221 - L'examen de son dossier professionnel ne fait pas apparaître de problème d'aptitude chez le copilote. La seule mention négative concerne une certaine lenteur d'exécution notée pendant son stage de pilote professionnel de première classe (PP1). Elle disparaît vers l'âge de trente ans, après que le suivi d'un stage long de formation structurée et l'acquisition progressive d'une expérience pratique de copilote sur avion de ligne, aient corrigé les carences de sa formation initiale. Son niveau de performance a alors atteint dans l'ensemble un niveau professionnel qualifié de standard.

Son expérience globale de 3600 heures en faisait un pilote moyennement expérimenté. Son expérience récente était de 61 heures dans les trois derniers mois, 40 heures le dernier mois, 1 heure dans les 24 dernières heures.

Il avait subi en 1990 et 1991 les entraînements et contrôles périodiques requis par la réglementation. Ces contrôles ont donné lieu à des appréciations de niveau professionnel favorables.

Son stage de qualification de type sur A320 et son adaptation en ligne se sont effectués conformément au programmes approuvés/déposés. Ils ont donné lieu à quelques critiques relatives à son comportement en équipage, et à sa rigueur vis à vis des procédures.

22.222 - Effets d'une éventuelle alcoolémie

Le taux mesuré par l'analyse toxicologique post-mortem indique une concentration d'alcool dans le sang du copilote comprise entre 0 et 0,30 gramme par litre (soit entre 0 et 0,03%) au moment de l'accident.

La commission s'est référée aux connaissances disponibles sur les effets de l'alcool sur les comportements et les performances cognitives, et en particulier aux articles suivants, publiés par Aviation, Space and Environmental Medecine en 1991 et 1992:

- " Pilot Performance with Blood Alcohol Concentrations Below 0.04%" par Ross, Yeaze & Chau;
- "Effects of Alcohol on Pilot Performance in Simulated Flight" par Billings, Demosthene, White & O'Hara;
- "Effects of Acute Aspartame and Acute Alcohol Ingestion upon the Cognitive Performance of Pilots" par Stokes, Belger, Banich & Taylor.

Ces connaissances ont incité la commission à considérer que, même dans l'hypothèse haute (0,30 g/l au moment de l'accident), une telle alcoolémie n'avait pas eu d'effet significatif sur les performances cognitives du

copilote, compte tenu notamment de sa consommation probablement habituelle d'alcool.

Cette conclusion est également soutenue par les éléments disponibles concernant le vol lui-même: toutes les interventions du copilote sont justes ou justifiées sur le fond : il propose une approche VOR/DME pertinente, il corrige une erreur du commandant sur le calage altimétrique QFE, il détecte le problème d'alignement sur l'axe d'approche finale et suggère les bonnes corrections.

La commission a d'autre part étudié au § 22.4 les effets d'une éventuelle alcoolémie du copilote au plan des relations internes à l'équipage.

22.23 - L'équipage constitué

22.231 - L'équipage était constitué de deux pilotes réglementairement qualifiés et d'un niveau professionnel supérieur ou égal au minimum requis par la réglementation et la compagnie pour l'exercice de leurs fonctions.

Cependant la commission a noté la faible expérience des deux pilotes sur A320.

L'expérience du commandant de bord sur A320 était d'environ 160 heures de vol. Bien que sur un réseau du type de celui d'Air Inter ceci corresponde à environ 160 étapes, ceci constitue une expérience faible, qui situe encore ce pilote dans une phase de maturation de son adaptation à cet avion. L'expérience du copilote sur A320 était encore plus faible: environ 60 heures de vol.

22.232 - Pour ces deux pilotes, l'A320 a constitué une triple nouveauté:

- la nouveauté classiquement associée à chaque qualification de type supplémentaire;
- une nouveauté associée à la découverte d'une génération de cockpits et d'automatismes sophistiqués: le commandant volait sur Caravelle 12, et le copilote sur Mercure, avions représentatifs de la technologie des années 60. Ni l'un ni l'autre n'avait d'expérience préalable des systèmes tels que les présentations instrumentales par écran cathodique, ou les FMS.
- la découverte de l'avion le plus novateur de cettegénération: commandes de vol électriques, minimanche, automanette fixe, mode FPA, digitalisation généralisée, ECAM.

22.233 - Tout processus d'apprentissage se traduit par une régression des modes cognitifs utilisés par les opérateurs humains: des modes supérieurs, les plus consommateurs en ressources cognitives, inévitables avant apprentissage, ils passent progressivement aux modes inférieurs, les plus automatisés. L'apprentissage permet à travers ce processus de libérer des ressources, d'augmenter la performance et la fiabilité des opérateurs. Le temps nécessaire pour la mise en place de modes cognitifs complètement automatisés est de l'ordre de 500 heures pour les situations de conduite de processus complexes.

Par ailleurs une étude récente (Amalberti 93) a évalué à une durée de l'ordre de 800 heures le temps nécessaire pour que les pilotes se soient construit une représentation précise de leur savoir-faire et de leurs limites sur un avion de nouvelle génération. Durant cette période, un pilote "s'approprie" progressivement l'avion, par compilation et structuration personnelle des connaissances acquises, et construction d'une connaissance sur son propre savoir, qui est un élément déterminant du réglage des stratégies d'action (gestion du temps, des priorités, des risques).

Cette expérience, qui correspond en moyenne à une année et demie de pratique, est donc l'ordre de grandeur de la phase de maturation de l'adaptation d'un pilote à un avion nouveau. Avant le terme de cette période, la performance est plus vulnérable aux erreurs internes et aux perturbations externes, et cela quel que soit le type d'avion. Les informations de la banque de données ADREP de l'OACI montrent que la courbe du nombre d'accidents rapporté à l'expérience des pilotes sur le type diffère notablement de la répartition de l'expérience elle-même, et comporte une bosse entre 100 et 700 heures de vol, avec un maximum important vers 250 heures.

22.234 - Par les évolutions qu'ils induisent dans les modes opératoires des pilotes habitués aux avions

classiques, les avions de nouvelle génération conduisent à une accentuation des problèmes de maturation, et à une augmentation de la durée de la phase de maturation. Ceci tient en particulier aux éléments suivants:

- le temps nécessaire pour se construire une représentation opérationnelle du système augmente avec la complexité du système (extension des fonctionnalités, multiplication des interactions entre sous-systèmes, logiques complexes);

- le temps nécessaire pour la mise en place de processus cognitifs de conduite et de contrôle automatisés (routiniers) augmente avec le niveau d'automatisation du système, le nombre de ses fonctionnalités, et la diminution des retours sensoriels;

Compte-tenu de leur expérience professionnelle passée limitée à des avions classiques de conception ancienne, et de leur expérience limitée sur A320, ces deux pilotes se trouvaient donc tout au début de cette phase de maturation. Leurs performances étaient plus vulnérables aux diverses perturbations externes (changements de procédure d'approche, trajectoire de guidage radar mal adaptée) ou internes (rapports entre membres d'équipage). Ceci est d'autant plus vrai pour les procédures rarement utilisées, comme les approches "classiques", et les manipulations associées (mode FPA).

22.3 - L'interface équipage-avion

22.31 - Introduction

22.311 - Deux hypothèses sur les trois retenues par la commission (voir § 21.4) concernent une conscience erronée de l'équipage à l'égard du mode de descente activé ou de la signification réelle de la valeur du paramètre sélectée.

Surtout, les trois hypothèses retenues par la commission se rejoignent sur l'absence de détection par l'équipage d'une anomalie majeure de trajectoire dans le plan vertical.

La commission a noté qu'un nombre élevé d'erreurs de ce type sont commises en phase d'instruction sur A320, et que le nombre résiduel d'erreurs en ligne semble suffisamment élevé pour transparaître malgré les imperfections du retour d'expérience dans ce domaine. Quelques cas signalés ont conduit à des situations dangereuses (voir § 117.6).

La commission a considéré en conséquence qu'une analyse des mécanismes des défaillances retenues dans les scénarios possibles de l'accident qui serait limitée aux caractéristiques de cet équipage et aux circonstances particulières de ce vol serait incomplète. Elle a recherché des éléments d'explication de ces défaillances constatées dans la relation entre un équipage quelconque et l'A320, en examinant les aspects suivants:

- rapport général de confiance ou de défiance des pilotes vis à vis de l'avion;

- ergonomie de la commande des modes verticaux;

- ergonomie de la présentation des paramètres de contrôle de la trajectoire verticale;

- autres facteurs d'alerte;

22.312 - Dans cette démarche, la commission ne prétend en rien avoir démontré une relation de cause à effet, directe et biunivoque, entre la conception ergonomique des composantes étudiées et l'accident. Elle ne prétend pas disposer d'éléments permettant d'établir que cette conception aurait provoqué à elle seule une éventuelle erreur de cet équipage lors de ce vol, ou l'aurait empêché d'en prendre conscience. Elle ne prétend pas non plus établir que le comportement supposé de cet équipage durant ce vol vis à vis des commandes et instruments concernés démontre à lui seul l'existence de défauts de conception.

La commission s'est appuyée sur l'exemple fourni par les différentes hypothèses de scénario de l'accident,

ainsi que sur les apports du retour d'expérience, pour analyser les interactions possibles entre certaines caractéristiques de conception de l'avion, les comportements des équipages, et finalement la sécurité des vols, pour tenter d'en déduire des pistes d'amélioration de la sécurité, liées ou non à l'A320.

22.313 - Dans cette démarche, la commission a adopté un point de vue général sur les rapports entre ergonomie du poste de pilotage et sécurité, qui comporte les postulats suivants:

- il est utile à la sécurité de réduire la probabilité d'occurrence de certaines erreurs;
- la conception ergonomique des commandes et de leur signalisation est l'un des paramètres de cette probabilité;
- la probabilité de détection d'une erreur au bout d'un temps donné dépend aussi de l'ergonomie de la représentation par les instruments des conséquences de l'action effectuée.

Pour son analyse, la commission a notamment fait appel à quelques concepts et connaissances simples, parfois récentes, apportées par la physiologie et la psychologie, et dont les références essentielles sont indiquées dans la note introductive au chapitre 2.2. Les critères d'appréciation ergonomiques qui en résultent ne font pas nécessairement l'objet d'un consensus au sein de la communauté scientifique, et ils ne font pas l'objet d'une application systématique en aéronautique. Par ailleurs, leur application aux autres types d'avion que l'A320, notamment ceux équipés d'instruments à tubes cathodiques et systèmes de pilotage numérique, n'a pas été systématiquement examinée de façon comparative.

22.32 - Rapport général de confiance équipage-avion

22.321 - Généralités

22.321.1 - Nul ne peut piloter un système en temps réel sans un minimum de confiance dans ce système. Cette confiance est par définition ce qui permet à un opérateur de postuler qu'entre deux points de vérification qu'il aura effectués, le comportement du système sera conforme aux modèles opérationnels qu'il s'en est fait. En l'absence de confiance, la fréquence d'échantillonnage du contrôle sur chaque processus dynamique devrait être infinie, ce qui est évidemment impossible.

22.321.2 - Cette confiance détermine donc les stratégies de délégation de tâches et le niveau de surveillance réelle que l'opérateur adoptera vis à vis du système, et en particulier des automatismes. Si cette confiance est élevée, il déléguera beaucoup et/ou surveillera peu. Dans ce cas il prend le risque de perdre une conscience correcte de la situation. Si cette confiance est faible, il déléguera peu et/ou surveillera beaucoup. Dans ce cas il prend le risque d'une saturation cognitive. Dans les deux cas, il y a baisse de performance, notamment en ce qui concerne la sécurité.

22.321.3 - Un opérateur humain gère en permanence un compromis entre ces deux risques. Le compromis adopté n'est ni universel (il dépend de l'individu, de sa personnalité, de son expérience passée, de sa culture), ni global (il peut y avoir confiance forte pour certains systèmes de l'avion et confiance faible pour d'autres), ni constant (l'évolution des circonstances conduit à redéfinir la répartition de la confiance en fonction des nouvelles priorités perçues).

22.321.4 - Un déterminant essentiel de la confiance que porte un opérateur au système qu'il doit piloter est la connaissance qu'il possède sur son propre savoir sur ce système, sur son savoir faire et ses limites personnelles. Les erreurs qu'il commet sont des éléments structurants de cette perception des limites, et constituent donc, au contraire d'une quelconque pathologie cognitive, une composante rétroactive fondamentale des processus d'apprentissage et plus généralement, de l'intelligence humaine.

22.322 - On a vu (cf § 22.2) que compte tenu de la faible expérience de chacun des pilotes sur l'avion (respectivement 162h pour le commandant et 61h pour le copilote), cet équipage est encore en phase de maturation de son adaptation à cet avion.

22.323 - On décèle chez le commandant une attitude générale de réticence vis à vis de l'avion. Il a repoussé le

plus longtemps possible son passage au secteur A320. Peu de temps avant l'accident, il a vécu un événement qui l'a marqué et qui alimente probablement ses doutes sur sa maîtrise de l'avion (voir § 15.11). Apprenant la présence à bord d'un collègue commandant A320 d'Air Inter durant le vol Orly-Lyon, il l'invite au poste de pilotage pour lui faire part de sa préoccupation concernant cet événement.

Pendant le vol de l'accident, on retrouve des indices de prudence vis à vis de son propre savoir faire, conformes à sa personnalité générale. Il résiste le plus longtemps possible au changement que lui suggèrent le copilote puis les instructions du contrôle, et préfère manifestement effectuer une approche ILS, dont il a déjà acquis une bonne habitude sur cet avion. Il effectue son virage de retour sur ANDLO en utilisant le plus souvent le mode ROSE VOR sur son écran de navigation. Cet affichage le replace dans les conditions qu'il connaissait sur les avions précédents.

Ces signes de prudence générale vis à vis de son propre savoir faire n'excluent cependant pas des attitudes locales de confiance totale vis à vis de certains automatismes de l'avion, en particulier les fonctions "classiques" du pilote automatique (modes sélectés par opposition aux modes programmés) pour lesquelles il peut transposer plus facilement son expérience des autres avions.

22.324 - Pour ce qui est du copilote on trouve globalement les signes d'une plus grande confiance en lui et en l'avion. Il n'hésite pas à proposer des adaptations de stratégies pertinentes. Il intervient sur la façon dont le commandant utilise l'avion: "laisse lui prendre ses trois cent quarante noeuds après tout". Il n'effectue pas les annonces prévues par la compagnie dans la majorité des cas concernant la surveillance des automatismes (changements d'indications FMA).

22.325 - L'examen des enregistrements CVR et QAR conduit au constat que l'équipage a abandonné presque totalement la surveillance du profil vertical du vol après que la mise en descente ait été commandée.

Ce constat découle principalement de l'absence d'annonce concernant les changements de modes de pilotage de la trajectoire verticale, et de l'absence de toute allusion au taux ou à la pente de descente, les communications entre pilotes étant concentrées sur la navigation latérale et la mise en configuration de l'avion.

Il est renforcé par le fait que 28 secondes avant l'accident, le commandant utilise les aérofreins. Ceci signifie en effet que lui au moins a pris conscience de ce que la vitesse tend à devenir excessive (flèche de tendance dans le bandeau VFE), mais qu'il corrige le symptôme sans s'interroger sur ses causes. Or une telle augmentation de vitesse constitue en soit une anomalie suffisante dans cette phase du vol pour amener cette interrogation. Le fait qu'il ne se pose pas la question (puisqu'il regarde le bandeau de vitesse au PFD sans lire les anomalies voisines: variomètre, assiette) indique peut-être une certaine saturation, et beaucoup plus probablement une confiance à peu près totale dans le fait que le pilote automatique fera ce qu'il lui a demandé - ou qu'il croit lui avoir demandé-de faire.

22.33 - Ergonomie de la commande des modes verticaux

22.331 - Généralités

L'A320 est le premier avion à disposer d'un mode (et par conséquent d'un sélecteur de mode) de pilotage automatique vertical en angle (FPA): il n'y a donc pas dans ce cas de transposition possible de savoir-faire anciennement acquis, et un apprentissage véritable est nécessaire. Au bout d'une certaine pratique, une procédure mécanisée (et un gestuel associé) est acquise.

Il est peu probable que l'expérience des pilotes du F-GGED ait été suffisante pour qu'ils aient acquis des automatismes sur ce point. En effet cette commande de mode vertical n'est pas d'un emploi fréquent: elle est utilisée essentiellement pour les procédures d'approche "classiques" (qui sont rarement effectuées sur le réseau d'Air Inter).

Dans ces conditions la procédure apprise est encore fragile. Elle reste très sensible aux perturbations extérieures: interruptions, focalisation de l'attention, pression du temps, stress. Elle reste également sensible aux déviations induites par d'éventuelles inadéquations ergonomiques (écart entre l'intention ou les présupposés du concepteur et le fonctionnement réel des opérateurs).

22.332 - Principes de conception

La philosophie de conception de la commande des modes latéraux et verticaux découle du principe de couplage latéral/vertical retenu par le constructeur. Ce couplage offre au pilote le choix entre deux références "cohérentes" de pilotage de la trajectoire: le pilotage traditionnel cap/vitesse verticale, et le pilotage direct du vecteur trajectoire instantanée. Selon le constructeur, cette philosophie a suggéré de localiser le sélecteur/inverseur de référence de trajectoire au centre du FCU, symbolisant l'intersection du plan vertical et du plan horizontal. Une légende à cristaux liquides, située au dessus de cet inverseur, indique la référence sélectionnée: HDG-VS ou TRK/FPA selon le cas.

Les commandes de sélection des valeurs sélectées ainsi que les fenêtres d'affichage correspondantes sont réparties de part et d'autre du sélecteur de mode, les paramètres latéraux à gauche et les paramètres verticaux à droite (voir annexe 15). La commande et la fenêtre d'affichage des paramètres de contrôle du taux de descente sont communs aux deux modes (VS et FPA) et sont situés assez loin de l'inverseur de référence sur la droite du FCU. Dans la fenêtre d'affichage, une légende signale, au dessus de la valeur considérée, la nature du paramètre sélectionné (VS ou FPA). La valeur sélectée peut être par la suite modifiée par simple rotation de la commande d'affichage. La sélection de référence peut se faire bien avant le point de début de descente.

22.333 - Procédure d'utilisation

La procédure de commande d'une mise en descente comprend normalement la sélection de la référence voulue (action au centre du FCU), puis l'affichage de la valeur sélectée par rotation du "rotacteur", et l'activation du mode par traction sur ce même rotacteur (actions sur la droite du FCU). Cette séparation des lieux d'action augmente la probabilité d'interruption de la séquence d'actions qui sont normalement liées dans la procédure. Or la probabilité d'un oubli en amont ou en aval de l'interruption augmente avec la probabilité d'interruption. De plus il existe un bouton poussoir identique au sélecteur de mode (destiné à l'affichage des altitudes en mètres sur l'écran EW/D) qui, lui, est situé à côté du rotacteur d'affichage des valeurs sélectées de FPA ou de VS. Ceci crée une possibilité de confusion entre les deux boutons poussoirs, d'autant plus que ces boutons poussoirs ne sont pas directement repérés par une indication explicite de leur fonction.

22.334 - Fiabilité du processus de commande

En cas de pression temporelle ou de stress, un opérateur humain adapte automatiquement ses procédures opératoires en faisant l'économie d'actions perçues comme moins importantes, ou moins efficaces. Il abandonne certains des contrôles au profit de l'exécution, cherche à mettre en oeuvre des réponses toutes prêtes (routines) au détriment de solutions raisonnées, et plus généralement abandonne la réflexion au profit de l'action. A la limite il ne gardera que ce qu'il perçoit comme essentiel à son projet d'action. Il s'agit là d'un mécanisme de régulation de la charge de travail, qui constitue un déterminisme interne incontournable pour tout être humain.

Pour l'équipage du F-GGED, l'objectif était de faire descendre l'avion. Le noyau dur de la procédure qui conduit à ce résultat ne comprend que les actions finales, c'est à dire l'affichage (même grossier) d'un taux de descente suivi de l'activation d'un mode de descente. Or, par opposition à la séquence sélection du mode de descente / affichage de la valeur cible, ces deux actions sont fortement corrélées sur le plan ergonomique: elles passent par un même rotacteur, et peuvent s'enchaîner dans un geste continu. La présentation des commandes renforce donc la tendance d'un opérateur sous pression à oublier la phase préliminaire de la procédure: la sélection du mode.

22.335 - Criticité du processus de commande

La cohérence entre le mode de descente sélectionné et la valeur affichée est une condition critique de sécurité. En effet l'affichage d'une valeur normale sur un mode (par exemple un angle de descente de 3.3 degrés) peut conduire à une situation critique si elle est prise en compte par le pilote automatique comme une valeur cible sur l'autre mode (3300 ft/mn dans l'exemple choisi).

Ce caractère critique résulte en fait de la conception de la commande et de la fenêtre d'affichage de la valeur sélectée. Même si des légendes à cristaux liquides rappellent la référence et le mode sélectionnés, le rotacteur

de commande et la fenêtre d'affichage numérique sont communs aux deux modes. Le format des valeurs numériques sélectées est par ailleurs beaucoup plus lisible (hauteur triple) que celle de l'indication de mode. La sensibilité de la commande est plus de trois fois plus grande en mode VS qu'en mode FPA: un clic = 0,1° en FPA; un clic = 100 ft/mn en VS, soit plus de 0,3° à vitesse normale d'approche. Or les formats de codage sont extrêmement voisins. Le codage sur deux chiffres de la vitesse verticale supprime toute possibilité de discrimination fiable (par le format) entre les deux grandeurs alternatives. Au contraire, ce sur-codage sur deux chiffres (ex: 33) d'une grandeur par ailleurs toujours codée sur trois ou quatre chiffres pour son utilisation par un opérateur humain (ex: 3300) augmente la probabilité de confusion entre une valeur de VS et une valeur de FPA. La probabilité de confusion entre 33 et 3.3 est élevée. Une fois commis, ce type d'erreur est pratiquement indétectable par la seule observation de l'affichage.(Les autres moyens de détection dont dispose l'équipage sont discutés au § 22.34).

22.336 - Conclusion

En conclusion la conception du rotacteur et de la fenêtre d'affichage du paramètre de pilotage de la trajectoire verticale confère un caractère critique à la cohérence mode vertical/valeur sélectée. Or la probabilité de confusion dans ce domaine apparaît élevée, en particulier pour un équipage jeune sur l'avion. La répartition spatiale des sélecteurs de mode et de valeur sélectée tend à accentuer la faiblesse naturelle du processus cognitif mis en oeuvre par un opérateur humain.

22.34 - Ergonomie de présentation des paramètres de contrôle de la trajectoire verticale

22.341 - Introduction

Il découle de ce qui précède que la détection a posteriori d'une anomalie de trajectoire engendrée par une erreur éventuelle de l'équipage devient un élément critique de la sécurité. D'ailleurs le seul élément commun à toutes les hypothèses de scénario conservées par la commission est l'absence de détection de l'anomalie par l'équipage.

La commission a en conséquence examiné les moyens dont disposait l'équipage pour détecter une mauvaise sélection de mode puis l'anomalie de trajectoire. Ces moyens comprennent l'affichage des modes de pilotage automatique, l'affichage des valeurs cibles, la symbologie du Directeur de Vol (DV), le variomètre, l'assiette longitudinale, l'augmentation de vitesse, le défilement de l'altimètre et la non conformité des altitudes franchies avec les minimums altitudes/distance spécifiés dans la procédure VOR-DME.

Dans son analyse, la commission a été guidée par la compréhension suivante des processus de perception d'un opérateur humain: ceux-ci s'apparentent à une lecture filtrée permanente des stimuli extérieurs, qui adapte à chaque instant les seuils cognitifs de perception pour opérer une très forte sélection. Ce filtrage est piloté par la représentation mentale que l'opérateur se fait de la réalité, et de son action présente et à venir sur son environnement. Ce pilotage s'effectue par l'intermédiaire de l'attention, qui est l'interface active de cette représentation mentale avec le monde réel. Elle est indissociable de l'action en cours et s'oriente à chaque instant vers un aspect différent du réel. Lorsqu'un stimulus fait partie du champ d'attention et concorde avec la représentation mentale, le seuil de perception correspondant est faible. Dans le cas contraire, il peut être très élevé.

Dans le vocabulaire employé par la commission dans la suite, le "pouvoir d'alerte" d'une information est sa capacité à franchir les seuils cognitifs en dehors du champ d'attention et/ou malgré une inadéquation de la représentation mentale. Le fait que ces seuils puissent être très élevés (et en particulier le fait que les représentations mentales soient très stables, et résistent parfois spectaculairement aux signaux discordants), ne signifie pas qu'ils soient infranchissables. La commission n'a pas considéré non plus que toutes les présentations de l'information soient de ce point de vue équivalentes, bien au contraire. L'intensité du signal physique (taille, sonorité, luminosité, colorimétrie, dynamique,..) rapportée à son environnement lui a semblé un paramètre évident du pouvoir d'alerte. La nature du codage, le degré d'analogie avec le phénomène réel représenté, la nouveauté et le niveau d'abstraction de la symbologie, en déterminant la complexité des processus cognitifs à activer pour le décodage, lui ont également paru jouer un rôle important à cet égard.

En application de cette compréhension et de ces critères, la commission a porté un certain nombre de jugements sur la présentation instrumentale de différents paramètres. Parce que les processus cognitifs

évoluent fortement au cours de la phase d'apprentissage et d'appropriation, elle a porté un regard différent sur les figurations classiques et sur les figurations nouvelles.

Comme cela a déjà été indiqué, la commission reconnaît le caractère subjectif des conclusions qu'elle a tiré de cette démarche.

Enfin, tout en conduisant cette analyse critique sur certains aspects de la conception de l'ergonomie des retours d'information du poste de pilotage, la commission est restée consciente de la complémentarité de tout effort dans ce domaine avec l'application par l'équipage de techniques de gestion des ressources et de surveillance appropriées, telles qu'enseignées par exemple dans les formations de type CRM (Crew Ressource Management).

22.342 - Affichage des modes de pilotage automatique

Le FCU comporte un affichage des modes sélectionnés. Ce renseignement apparaît en deux endroits: sur la fenêtre d'affichage de la référence de trajectoire choisie (HDG-VS ou TRK-FPA), et dans la partie supérieure de la fenêtre d'affichage de la valeur sélectée. La hauteur des lettres est nettement plus faible que celle des caractères numériques, et n'est lisible qu'en vision centrale. Quoi qu'il en soit, cette signalisation ne constitue pas la référence principale. En effet, la philosophie de base définie par le constructeur pour la détection des anomalies repose sur le principe suivant: le résultat de toute intervention sur le FCU doit être contrôlé sur le FMA. En particulier les changements de mode sont mis en évidence par l'apparition, pendant dix secondes, d'un encadré (ou "box") autour de l'affichage du mode qui vient de subir une modification.

Dans le cas du F-GGED, le problème se pose différemment selon l'hypothèse de scénario considérée. S'agissant d'un oubli de changement de référence, il s'agit de détecter que le mode activé au dégagement du mode ALT, et souligné par l'apparition d'un encadré blanc pendant dix secondes, est le mode attendu. S'agissant d'une erreur de manipulation ou d'un dysfonctionnement du bouton poussoir, le problème est de détecter à travers l'affichage l'absence du changement attendu. La fiabilité d'une telle détection "en négatif" est liée à celle de la détection "en positif" des changements de mode.

La lisibilité des changements de mode sur le FMA est suffisante lorsque le pilote s'attend à une telle information et regarde le FMA, ou au voisinage du FMA pour y lire la confirmation du changement de mode attendu (comportement équipage conforme à la procédure prévue et aux règles enseignées). En effet la taille angulaire de l'encadré transitoire, vu d'une position moyenne de l'oeil, est de l'ordre de 2°. Ceci correspond à la taille de la zone de vision centrale capable d'une lecture alphanumérique. Lorsqu'on s'écarte de cette zone, l'acuité visuelle devient rapidement insuffisante pour permettre la lecture directe des modes, mais la vision reste sensible aux phénomènes transitoires. L'apparition, puis la disparition à dix secondes d'intervalle de l'encadré reste par exemple perceptible avec un minimum d'attention si le regard est axé sur le centre du PFD. Cependant la lecture du mode imposerait une saccade de l'axe de regard vers le FMA.

Par contre l'efficacité de l'encadré n'est pas toujours suffisante pour "forcer" une information auprès d'un pilote qui n'attend pas de changement de mode (détection d'un changement intempestif), ou qui ne consacre pas effectivement une part de son attention à la vérification du mode activé (comportement équipage non conforme à la procédure prévue et aux règles enseignées). Il suffit par exemple que le regard soit axé sur le centre du ND et l'attention consacrée à un problème de navigation pour que la signalisation d'un changement de mode ne soit pas perçue.

22.343- Affichage des valeurs cibles

La philosophie enseignée et rappelée ci-dessus vaut également pour les valeurs cibles: toute action sur le FCU doit être contrôlée sur le PFD. Cependant le contrôle au PFD des valeurs cibles de trajectoire verticale (VS ou FPA) effectivement prises en compte par le pilote automatique est impossible car ces valeurs ne sont pas présentées, à la différence des cibles de cap, route, altitude, vitesse ou mach. Il y a donc sur ce point conflit entre la conception de l'interface, la philosophie générale présentée par l'avionneur, et les principes enseignés pour son utilisation.

En l'absence de figuration des valeurs cibles verticales, et puisque les modes verticaux VS et FPA sont toujours couplés à des modes latéraux associés (HDG et TRK), le pouvoir de discrimination de la symbologie

vis à vis du mode activé repose sur la symbologie de figuration des cibles latérales, cap ou route. Or celle-ci est pratiquement identique dans les deux cas: alors que les index de cap et de route magnétique instantanés sont distincts (barre verticale jaune et losange vert), la cible est figurée, sur l'échelle des caps du PFD et sur le ND, par le même symbole (un triangle de couleur cyan) dans les deux modes (ou par la valeur numérique si elle se situe hors de l'échelle).

Les seules différences de présentation entre les deux références du point de vue de la figuration des valeurs cibles concernent en fait d'une part la brillance et la longueur de l'index jaune des caps, qui sont diminuées en référence TRK-FPA, et d'autre part l'apparition en mode TRK de la cible de route magnétique la ligne d'horizon du ND. Elle est cependant figurée alors par une barre verticale (de couleur cyan) analogue à celle qui représente partout ailleurs l'index des caps.

En résumé, l'affichage des valeurs cibles au PFD ne comporte pas les paramètres de la trajectoire verticale. L'équipage ne peut donc pas vérifier la valeur du paramètre vertical prise en compte comme cible par le FMGC. D'autre part, la symbologie de figuration des cibles latérales ne permet pas une discrimination évidente de la référence de trajectoire utilisée.

22.344 - Variomètre

22.344.1 - Un instrument essentiel pour la détection d'une anomalie de trajectoire verticale de ce type est le variomètre. La présentation du variomètre de l'A320 est analogue à celle de la plupart des avions récents équipés de tubes cathodiques. Rien ne prouve qu'une présentation de déviation analogique linéaire soit intrinsèquement moins efficace ou alertante que la présentation circulaire des instruments classiques. Elle est en revanche différente, et en conséquence la mise en place de seuils d'alerte pour la perception immédiate d'une situation anormale nécessite l'accumulation d'une expérience nouvelle (étalonnage empirique de la perception) que n'avait probablement pas encore acquis l'équipage du FGGED (voir § 22.233, rôle de l'expérience sur le type). Il est même possible que ces pilotes n'aient jamais eu l'occasion, y compris lors de leur instruction, de voir apparaître la signalisation ambre de valeurs de vitesse verticale anormales en approche.

22.344.2 - Si on compare la présentation du variomètre de l'A320 à celles d'autres cockpits à écrans cathodiques, on constate que dans le cas de l'A320, l'amplitude de la déviation analogique est limitée à +/- 2000 ft/mn. Les valeurs supérieures sont indiquées par une aiguille en butée et par l'apparition en bout d'échelle d'un nombre à deux chiffres (vitesse verticale exprimée en centaines de pieds par minute). Laissée en l'état, cette présentation serait insuffisamment alertante dans le cas où la valeur de vitesse verticale représentant une éventuelle anomalie dépasserait 2000ft/mn. En effet, elle fait appel à une lecture à part entière (décodage), c'est à dire un processus cognitif de niveau supérieur à celui mis en jeu pour la perception d'un signal analogique.

Un tel processus, qui nécessite une attention dirigée, est trop consommateur en ressources mentales pour être maintenu actif en permanence chez un opérateur. Il doit donc être activé par un déclenchement extérieur faisant appel à des signaux plus élémentaires. Le constructeur a choisi pour obtenir ce résultat un codage en couleur ambre des gammes de taux de descente considérés comme anormaux : plus de 6000 ft/mn, ou plus de 2000 ft/mn au-dessous de 2500 ft HRA (hauteur radio-altimètre), ou plus de 1200 ft/mn au-dessous de 1000 ft HRA.

22.344.3 - Dans le cas de l'accident ce pouvoir d'alerte a été insuffisant pour faire prendre conscience de la gravité de la situation à l'équipage. La vitesse verticale a dépassé 1000 ft/mn (qui peut être considérée comme une valeur en limite de normalité en approche intermédiaire/finale) à 18h19mn53s, soit 15 secondes après l'engagement du mode de descente c'est-à-dire 44 secondes avant l'accident. D'après la logique rappelée ci-dessus, l'indication de vitesse verticale a dû devenir ambre lorsque les deux conditions, HRA inférieure à 2500 ft et vitesse verticale supérieure à 2000 ft/mn, étaient réunies, environ 20 secondes après l'engagement de la descente soit 40 secondes avant l'accident. Cet affichage a dû rester ambre jusqu'à l'impact puisque les conditions sont restées remplies.

A 18h20mn9s, soit 28 secondes avant l'accident, le commandant sort les aérofreins: ceci indique qu'il a regardé le PFD et été correctement alerté au sujet de la vitesse. Malgré cela, il n'a été alerté ni par la couleur ambre de l'échelle du variomètre ni par la valeur de vitesse verticale affichées sur ce même PFD. On peut

interpréter cette différence de deux manières. On peut considérer d'abord que le commandant avait une raison particulière de rechercher l'information de vitesse puisqu'il devait vérifier la prochaine limite VFE pour la sortie des volets vers la position 3 (VFE next). On peut aussi considérer, en remarquant que la vitesse indiquée est à cet instant de 192 Kts et que la flèche de tendance pénètre juste dans le bandeau VFE, que la flèche jaune représentant les variations de vitesse est plus attractive et efficace que la barre oblique représentant les variations d'altitude.

22.344.4 - Les seuils d'alerte qui étaient pertinents dans le cas de cet accident concernent des valeurs de vitesse verticale de l'ordre de 1000 à 2000 ft/mn. De telles valeurs sont encore couvertes par le déplacement linéaire analogique de l'aiguille indicatrice sur le variomètre de l'A320. Au delà de ces valeurs, le codage par couleur d'une information de dépassement de limite fait appel à un mécanisme d'interprétation plus complexe que la "lecture" d'une position anormale d'aiguille sur un cadran circulaire. Cependant l'association anomalie / couleur ambre fait partie de la culture de base de tout pilote.

La mise en défaut de ce principe dans le cas du F-GGED suggère qu'on se demande si la couleur ambre est bien cohérente avec l'urgence potentiellement associée au franchissement des seuils d'anomalie, tels que prédéfinis, durant l'approche. En particulier ce choix pourrait être rapproché de l'indication par bandeau rouge des vitesses limites telles que VFE, VLE, etc. Il peut également être rapproché de la syntaxe symbolique normalisée par le règlement de certification pour les voyants lumineux (JAR.1322) ou pour les marquages d'instruments (ex: JAR 1549 et ACJ correspondante). Les significations associées aux couleurs rouge et ambre y sont en effet les suivantes:

- rouge: alarme; indication d'un danger qui peut exiger une action immédiate;
- ambre: avertissement; indication d'un besoin éventuel d'action future;

Enfin la commission s'est demandé si la multiplicité des couleurs mises en oeuvre sur une faible surface dans la symbologie des écrans cathodiques n'a pas banalisé les associations qui se veulent alertantes.

22.344.5- La commission considère en résumé que, pour ce qui concerne le variomètre, l'absence de perception des seuils d'alerte constatée à l'occasion de cet accident résulte moins des caractéristiques de la présentation du variomètre, que de sa nouveauté pour l'équipage du F-GGED. En effet celui-ci n'avait probablement pas encore acquis l'expérience nécessaire pour la perception immédiate d'une situation anormale. La commission estime cependant que le temps d'acquisition de l'expérience correspondante pourrait être nettement réduit par un renforcement de la présentation de la vitesse verticale, et en particulier un renforcement du pouvoir d'alerte des valeurs anormales.

22.345 - Altimètre

L'altimètre constitue également un instrument essentiel pour la détection d'une anomalie de trajectoire verticale dans une approche VOR/DME. Associé au DME, il permet de comparer les altitudes de passage de l'avion à des minimums spécifiés indiqués sur la fiche de procédure, pour des distances spécifiées. Or le CVR n'indique pas que le contrôle prévu à 9NM de STR ait été effectué (ce point est traité plus complètement aux paragraphes 22.523 et 22.53). Seule une annonce au temps QAR 3049 ("faut faire attention qu'il ne descende pas") indique peut-être une préoccupation de l'équipage vis-à-vis de l'altitude, sans qu'on puisse savoir ce qui a amené le commandant à formuler cette phrase -il s'agit peut-être d'autre chose que de l'avion- pas plus que la suite qui lui a été donnée.

Dans ces conditions, le pouvoir d'alerte d'un altimètre, quelle qu'en soit la présentation, est à peu près nul, car l'opération mentale (lecture de valeurs numériques, comparaison algébrique) qui pourrait conduire à la détection de l'écart vertical suppose de l'attention dirigée, donc un contrôle conscient. Le seul élément alertant potentiel réside dans le défilement anormalement rapide des indications d'altitude, qui fonctionne alors comme un variomètre. La commission s'est interrogée, de ce point de vue, sur l'efficacité de la présentation instrumentale de l'altitude. Elle a atteint des conclusions analogues à celles qui concernent l'indication variométrique. L'élément déterminant est la nouveauté de l'instrument pour cet équipage, qui n'avait pas atteint une expérience pratique suffisante pour la mise en place de seuils d'alerte adaptés à la perception immédiate d'une situation anormale.

22.346 - Présentation de l'assiette longitudinale

L'assiette est devenue négative, ce qui peut être considéré comme une anomalie pour une approche sous un angle de 3°, environ 45 secondes avant l'impact. Elle a dépassé -5° (anomalie manifeste) environ 40 secondes avant l'impact. L'absence de réaction du pilote aux commandes suscite une très forte présomption qu'il n'a pas pris conscience de l'anomalie. La représentation d'assiette sur A320 est classique, et aucun phénomène d'apprentissage spécifique n'est donc impliqué.

On peut cependant noter qu'il existe une interaction entre la représentation de l'assiette et la symbologie du Directeur de Vol (voir paragraphe 22.346), comme le montrent les confusions qui se produisent entre assiette et angle de montée en remise de gaz en mode FPA. Dans l'hypothèse d'une erreur sur le mode, on ne peut donc pas exclure que l'attente d'un repère (celui du FPA) au dessous de l'horizon atténue la perception de l'anomalie que constitue une assiette négative.

On peut néanmoins déduire de cette absence de perception d'une anomalie importante indiquée par une présentation classique que l'équipage a abandonné la surveillance de l'assiette pendant cette période, au profit, soit de la navigation latérale, soit de sources d'information de niveau de synthèse plus élevé (ex: Directeur de Vol)

22.347 - Le directeur de vol (DV)

La commission s'est interrogée sur le pouvoir d'alerte du directeur de vol dans les circonstances de l'accident, tant vis à vis d'une erreur de mode que vis à vis de l'anomalie de trajectoire.

En ce qui concerne l'erreur de mode, la symbologie de présentation du directeur de vol sur le PFD est différente selon que l'on est en référence HDG-VS ou en référence TRK-FPA (voir annexe 15). En référence HDG-VS, la symbologie fait appel à des barres de tendance croisées traditionnelles. En référence TRK-FPA, elle affiche une maquette symbolique de l'avion vu de l'arrière (Flight Path Vectoriel ou "bard") pour représenter le vecteur vitesse instantané, et une barre de référence spécifique (Flight Path Director) pour le guidage. Ces deux symbologies sont donc intrinsèquement tout à fait différentes.

Cependant la corrélation entre les symbologies et les modes est abstraite, et leur association automatique dans les représentations mentales suppose donc une expérience assez importante, que ne possédait pas l'équipage.

En ce qui concerne l'anomalie de trajectoire, le pouvoir d'alerte du DV était pratiquement nul: en effet, dans les circonstances, l'information brute présentée aux pilotes du F-GGED par leurs DV en mode VS était : "aiguilles centrées", dont le décodage immédiat est : "manoeuvre correcte". Dans un tel contexte, l'information présentée fonctionne donc plutôt comme une confirmation de normalité.

22.348 - Equilibre général des informations verticales et latérales

Il existe une tendance des opérateurs à concentrer leur attention sur les sources d'information qui présentent le niveau de synthèse le plus élevé, et par conséquent la meilleure efficacité opérationnelle. Ceci est vrai pour le Directeur de Vol dans une instrumentation classique. Pour les avions dotés d'écrans cathodiques et de FMS, l'information de plus haut niveau de synthèse (niveau stratégique) en ce qui concerne la trajectoire de l'avion est celle présentée sur le ND. Or celui-ci ne comprend que le profil latéral de la trajectoire.

Il y a donc de ce point de vue, une dissymétrie marquée dans l'interface avion/équipage entre les dimensions latérales et la dimension verticale. La nature différente des informations en plan et en profil vertical et leur synthèse est une des difficultés de base de la formation d'un pilote IFR. La navigation latérale a en effet bénéficié de progrès plus rapides vers des représentations analogiques que la dimension verticale. Cette dissymétrie, déjà accentuée par l'apparition des plateaux de route, s'est aggravée lors de l'arrivée des EFIS présentant des cartes de navigation en plan très complètes, mais sans information de profil vertical, ni figuration topographique ou représentation d'altitude minimal de sécurité. Bien que de nombreux types d'avion exploitent maintenant avec succès de tels dispositifs, il y a là une cause manifeste de déséquilibre dans l'affectation de l'attention de l'équipage.

22.349 - Conclusion

Globalement, la non détection des anomalies de vitesse verticale, de défilement d'altimètre et des altitudes atteintes, traduit un abandon majeur par l'équipage de la surveillance du profil vertical au profit de la surveillance latérale et de la mise en configuration de l'avion. Elle ne met pas en évidence de déficience intrinsèque importante dans la présentation des paramètres de contrôle de la trajectoire verticale.

Cependant la commission considère que la présentation des informations de guidage et de pilotage dans le plan vertical, si elle est de nature à satisfaire aux besoins d'un équipage convenablement conscient de sa trajectoire, n'est pas propre à alerter efficacement un équipage en situation d'erreur de représentation à cet égard, d'autant que certaines sources traditionnelles de retours sensoriels n'existent pas sur cet avion.

22.35 - Autres facteurs d'alerte potentiels

22.351 - Loi de prise d'assiette en pilotage automatique

La loi de prise d'assiette au PA (limitation à 0,05g du différentiel de facteur de charge) n'a joué aucun rôle dans le cas du F-GGED puisque, du fait d'une vitesse ascensionnelle de 600 ft/mn existant au moment de la commande de descente, ce différentiel a été de 0,12g (car l'autorité du PA est augmentée dans ce cas). Malgré cela, l'équipage n'a pas été alerté par la durée anormale de l'accélération (une quarantaine de secondes au lieu d'une quinzaine pour une stabilisation à 800 ft/mn). Ceci est conforme à la réponse physiologique normale, qui détecte surtout les variations d'accélération.

22.352 - Viseur Tête Haute (HUD)

Un descriptif de cet équipement figure en annexe 15

Compte tenu de ce qui est dit au § 117.21, le HUD a pu être mis sous tension alors que la glace n'était pas déployée. Cette action du pilote (non conforme à la procédure décrite dans le manuel d'exploitation: "Tout mouvement de la glace est à faire rhéostat de commande sur OFF") n'exclut pas que le commandant ait ensuite déployé la glace. Rien n'indique que le pilote ait regardé le HUD pour contrôler la trajectoire de l'avion. Au contraire, bien que rien n'interdise à un pilote de l'utiliser pour le début de la descente, la pratique la plus courante lors d'une approche classique est d'exploiter les informations du HUD à partir du moment où la piste est en vue. De plus, en conditions IMC, la seule raison qui aurait pu amener le commandant de bord à regarder dans le HUD est de tenter de positionner le plan suivi par l'avion par rapport au plan sélectionné. Mais dans ce cas, l'absence de référence de plan sélectionné aurait été évidente.

Le plus probable est donc que le commandant n'ait pas utilisé son HUD.

22.353 - Ergonomie des manettes de puissance

22.353.1- Par conception, les manettes de poussée de l'A320 sont "fixes" en mode autopoussée (A/THR). Cela signifie qu'elles ne sont pas asservies en position aux ordres de poussée envoyés aux moteurs par le calculateur, mais restent normalement dans une position fixe matérialisée par un cran mécanique. La position mécanique de la manette définit la poussée maximale que pourra commander l'autopoussée. Ainsi, à l'exception du décollage, un vol s'effectue entièrement, y compris une descente avec les moteurs au ralenti, avec les manettes dans le cran "CLIMB". L'autopoussée peut alors en effet utiliser toutes les valeurs de poussée inférieures ou égales à la poussée "CLIMB".

22.353.2 - Dans le cas de l'accident, compte tenu de la pente et de la configuration de l'avion, les régimes moteurs (N1) se sont stabilisés à 35%. Pour une descente sur un plan de 3°3 après stabilisation de la trajectoire et de la vitesse en configuration d'approche finale, toutes choses égales par ailleurs, le N1 aurait été d'environ 53%. Si les manettes de poussée avaient été mobiles par conception, au lieu de rester dans le cran CLIMB, elles auraient pris une position dépendant du N1. La différence entre les deux positions qu'elles auraient prises dans les deux situations évoquées ci-dessus correspond à environ 1/5 de la plage d'utilisation.

22.253.3 - Les manettes de l'A320 sont de petite taille, et il est peu vraisemblable dans ces conditions que l'équipage aurait détecté une différence de l'ordre de grandeur évoqué ci-dessus, d'autant plus qu'il est très

peu expérimenté sur l'avion. Dans le cas d'une géométrie plus classique, le pouvoir d'alerte serait intrinsèquement plus élevé, notamment par l'intermédiaire de la perception kinesthésique de la variation de position des membres, lorsque la main du pilote est posée sur les manettes. Cette sensibilité fournit en effet un canal complémentaire de saisie d'information, très instinctif, et qui ne mobilise pas les fonctions cognitives supérieures. La commission a cependant considéré que, dans les circonstances de l'accident, compte-tenu du mouvement des manettes dans le sens attendu et du faible écart de leur position finale, un tel canal n'aurait pu jouer néanmoins qu'un rôle très marginal dans la détection de l'anomalie de trajectoire.

22.354 - Absence d'autocall-out à 4OO ft

Sur A320, la fonction d'annonce sonore automatique (auto call-out) de la hauteur radio-altimétrique et de la hauteur de décision est assurée par les calculateurs FWC (Flight Warning Computer). En ce qui concerne les hauteurs radio-altimétriques, les auto call-out sont sélectionnables indépendamment les uns des autres par programmation. A l'époque de l'accident, les annonces qu'il était possible de programmer étaient les suivantes : 400 pieds (l'annonce de la voix synthétique est alors "FOUR HUNDRED"), 300, 200, 100, 50, 40, 30, 20, 10, 5 pieds.

Air Inter avait choisi d'activer les annonces de hauteur inférieures ou égale à 200 pieds.

Compte tenu du profil de la trajectoire du F-GGED par rapport au relief, si l'annonce "four hundred" avait été programmée sur cet avion, elle aurait été déclenchée entre 4 et 3 secondes avant l'impact. Ce délai aurait été manifestement trop court pour permettre l'évitement du mont La Bloss.

Par ailleurs, il convient de noter que les éventuelles alarmes GPWS annoncées par la voix synthétique sont prioritaires sur les annonces radio-altimétriques. En conséquence si l'avion avait été équipé d'un GPWS, l'alarme déclenchée par cet équipement (voir § 117.9) aurait été prioritaire sur l'annonce "FOUR HUNDRED".

22.36 - Absence de GPWS

22.361 - Une étude par simulation numérique de la chronologie des alarmes qui seraient apparues si le F-GGED avait été équipé d'un GPWS figure au § 117.9. Cette étude fait apparaître la première alarme "utile" environ 18 secondes avant l'impact.

Par ailleurs ce même paragraphe fait état d'une simulation du comportement de l'avion dans les conditions de l'approche finale. Cette simulation montre que 7 secondes sont nécessaires pour annuler la vitesse verticale de l'appareil, lorsque la remise de gaz est effectuée en mode automatique (le facteur de charge est d'environ 1,25g). Ce délai est réduit à environ 5 secondes si la remise de gaz est effectuée en mode manuel avec application immédiate de la pleine déflexion du manche vers l'arrière (le facteur de charge est alors limité à 2g). Dans les deux cas, une réaction à l'alarme permet d'éviter le mont La Bloss.

Selon l'équipementier, des études en vol auraient montré un temps moyen de réaction salvatrice des équipages de 5 à 6 secondes après le déclenchement d'une alarme, pour des équipements Mark II et III, et avec des pilotes entraînés sur simulateur à l'utilisation du GPWS.

22.362 - Une simple opération arithmétique (6+7=13 inférieur à 18) semble donc permettre d'affirmer qu'un GPWS aurait sauvé l'avion, même en prenant en compte une trajectoire de remise de gaz en mode automatique. De fait, une telle affirmation, qui se fonde sur une grandeur qui n'a de sens que statistiquement (le temps moyen de réaction), serait tout à fait simpliste si elle était appliquée à un cas particulier. En effet la réaction d'un équipage à une alarme, quelconque n'est pas un processus déterministe.

Certains accidents de vol "piloté dans le relief" se sont produits avec des avions équipés d'un système GPWS qui avait émis une alarme suffisamment précoce, c'est-à-dire permettant d'éviter le relief après une réaction immédiate. L'équipage n'en avait simplement pas tenu compte, convaincu qu'il ne pouvait s'agir que d'une alarme fausse ou injustifiée, tant elle était incompatible avec la représentation mentale qu'il se faisait de sa position. Ceci est particulièrement le cas lorsque le système est décrédibilisé par un taux excessif d'alarmes injustifiées (problèmes techniques, seuils de déclenchement ou procédures de vol inadaptées). D'autres accidents de ce type ont également eu lieu, alors que le GPWS avait été mis hors service, délibérément ou par défaut de maintenance.

Selon une statistique très récente concernant les vols effectués par une grande compagnie aérienne, dotée depuis plusieurs années d'une politique très volontaire vis à vis du GPWS, sur environ 300 cas d'alarme GPWS rapportés globalement, 60% n'ont pas entraîné de remise de gaz, et 20% des alarmes justifiées n'ont néanmoins pas conduit à une remise de gaz. De plus aucune des remises de gaz effectuées n'a été conduite comme une manoeuvre d'évitement maximum : seules des mises en montée normales ont été exécutées.

Rappelons enfin, que lors de deux des événements rapportés au 117.62, similaires à l'événement pivot, c'est le GPWS qui a permis à l'équipage de se rendre compte que le mode de descente actif n'était pas celui qu'il pensait.

22.363 - Lorsqu'on examine un cas particulier, il faut donc prendre en compte de nombreux facteurs, dont la plupart influent sur la réaction de l'équipage à une telle alarme. Leur analyse concerne un domaine subjectif, où la sensibilité au contexte, à la fois conjoncturel et général (culture de compagnie) est importante, et où le pouvoir de prédiction des modèles de compréhension disponibles est très faible à l'échelle du cas isolé.

Dans le cas du F-GGED, l'équipage est polarisé sur la navigation latérale et le changement de configuration, avec une représentation mentale de sa situation dans laquelle la dimension verticale, déléguée à l'automatisme, est perçue comme tout à fait nominale. L'histoire des accidents montre que dans une telle situation, la représentation mentale est spectaculairement résistante aux signaux extérieurs discordants, qui sont d'abord intégrés à priori comme cohérents: "c'est normal, parce que...".

Pour ce qui est du contexte général, il faut accompagner l'hypothèse "le F-GGED était équipé d'un GPWS" d'hypothèses périphériques sur la culture de la compagnie, ses procédures et ses consignes vis à vis de ce système. Il ne peut évidemment s'agir ici que de pure spéculation.

Rappelons que lorsque la compagnie Air Inter a décidé de ne pas équiper ses A320 en GPWS, le modèle Mark V n'existait pas encore. Par ailleurs, à l'époque de l'accident, le Mark V existait mais n'était pas certifié sur A320. Pour cette raison, dans la suite de cette étude, la commission ne considérera que le modèle Mark III, seul disponible à l'époque où Air Inter à pris sa décision. Notons néanmoins que par rapport au Mark III, le gain apporté par le Mark V concerne principalement le niveau des contraintes opérationnelles à respecter pour ne pas obtenir des alarmes non justifiées. Par exemple, sur la trajectoire suivie par le F-GGED à Strasbourg, le Mark III génère deux alarmes non justifiées à la vitesse à laquelle volait l'avion, soit 230 noeuds, alors que le MARK V ne les génère pas. A une vitesse inférieure à 200 noeuds, le Mark III et le Mark V se comportent de manière similaire et ne génèrent pas d'alarmes non justifiées.

On peut à titre d'exemple examiner deux hypothèses parmi toute la gamme des possibles.

22.364 - Première hypothèse:

L'avion est équipé du GPWS Mark III. Les équipages d'Air Inter utilisent les cartes du Groupe Air France, qui font mention d'alarmes injustifiées potentielles sur la procédure VOR DME 05 de Strasbourg (hélicoïdes). L'équipage "sait" qu'il ne doit pas tenir compte de l'alarme dans ce cas s'il en a clairement identifié l'origine. Il n'a pas suivi d'entraînement spécifique au simulateur, ni de campagne de sensibilisation particulière insistant sur la nécessité de réagir dans tous les cas à l'alarme GPWS. Aucune procédure particulière liée à l'approche considérée n'a été émise, et le F-GGED effectue la même procédure que lors du vol de l'accident, avec les mêmes vitesses.

En fin de branche d'éloignement, alors que l'équipage se sait en palier à une altitude de sécurité, l'alarme retentit. Après vérifications simples, il n'en tient pas compte . L'alarme est amenée à durer pendant deux minutes, ce qui est particulièrement long et gênant. En milieu de virage les conditions de déclenchement d'une alarme injustifiée apparaissent de nouveau. Enfin, une dernière alarme, justifiée celle-ci, retentit environ 18 secondes avant l'accident, toujours dans une zone référencée à alarmes injustifiées possibles.

Dans un tel contexte il paraît fort peu probable que l'équipage aurait réagi positivement à la dernière alarme.

22.365 - Deuxième hypothèse:

L'avion est équipé du GPWS MKIII, la compagnie et les services officiels, chacun dans leur domaine d'action

spécifique, avaient développé une politique particulière autour du GPWS. Le concept d'alarme intempestive n'est accepté ni sur les cartes, ni dans les procédures. Les procédures d'approche et de guidage au radar évitent les zones à alarmes injustifiées. Les vitesses d'évolutions en approche ont été adaptées pour éliminer également les alarmes injustifiées. Les équipages sont régulièrement entraînés à avoir une réaction réflexe de remise de gaz avec trajectoire d'évitement en cas d'alarme GPWS au dessous de l'altitude de sécurité.

Dans ces conditions, le vol du F-GGED ne génère d'alarme GPWS que lors de la descente finale, environ 18 secondes avant le point d'aboutissement à la surface terrestre.

Dans ces conditions, il est très probable que l'équipage aurait réagi positivement à l'alarme.

22.366 - Conclusion

En fait, la seule appréciation vis à vis du GPWS doit être statistique. De ce point de vue les résultats sont clairs: l'équipement des flottes et la mise en place de politiques d'utilisation cohérentes diminuent significativement le nombre de vols pilotés contre le relief.

22.4 - Les relations internes à l'équipage

Dans sa recherche systématique de tous les facteurs qui ont pu jouer un rôle dans cet accident, la commission a estimé nécessaire d'examiner si des dysfonctionnements avaient pu apparaître au niveau des relations internes à l'équipage. De tels dysfonctionnements auraient pu en effet avoir un impact sensible sur la performance globale de l'équipage. La commission a eu, ce faisant, tout à fait conscience que ses réflexions se situaient dans un domaine, celui des sciences humaines appliquées au métier de pilote de ligne, dans lequel beaucoup reste à découvrir et où les vérités ne sont que relatives. La commission a développé cette réflexion sur trois plans successifs : un rappel sur les rapports de personnalité des deux pilotes, une analyse de leur comportement individuel au cours du vol de l'accident, une analyse de leur comportement en équipage.

22.41 - Rapports de personnalité et affinités

Le commandant de bord apparaît comme un homme réservé, calme, prudent, qui hésite à s'engager sans avoir bien compris la situation, procède avec une certaine lenteur, privilégie l'anticipation et n'aime pas l'improvisation. Le copilote semble posséder une personnalité plus entreprenante, plutôt sûre d'elle-même, un peu condescendante vis-à-vis de personnes qu'il estime moins rapide que lui à comprendre. Il est à l'aise et bien intégré dans son nouveau milieu professionnel. Mises en présence l'un de l'autre au sein d'un équipage, ces personnalités pouvaient conduire à une certaine atténuation du rapport normal d'autorité entre un commandant de bord et son copilote. Or, on ne constate pas vraiment une telle atténuation, et encore moins une inversion de ce rapport d'autorité, dans les éléments du vol reconstitués par l'enquête.

Les deux hommes n'avaient jamais volé ensemble avant le jour de l'accident et ne s'étaient jamais rencontrés. Il semble cependant que, lors de leur premier contact à Orly avant le premier vol de la journée, ils n'aient éprouvé aucune affinité particulière l'un vis à vis de l'autre. Deux témoignages concordants font en effet mention d'une ambiance particulière qualifiée de "coincée" entre les deux membres d'équipage. Un commandant de bord a en effet effectué en poste de pilotage le vol Paris-Lyon précédant l'accident et a trouvé un équipage silencieux, réduisant ses communications aux seuls échanges obligatoires, chacun étant plongé dans son travail de son côté. Un agent de trafic de l'aéroport de Lyon-Satolas a également remarqué à l'escale de Lyon ce même "climat d'indifférence" entre les deux hommes.

La commission pense donc que cette première prise de contact entre les deux hommes peut s'être traduit par un constat réciproque de manque d'affinité. Les différences physiques et psychiques qui existaient entre eux en sont peut-être le seul facteur explicatif.

La commission s'est toutefois demandé si le climat particulier rapporté par ces témoins n'avait pas pu provenir d'un incident survenu entre les deux hommes à la prise de service, le commandant constatant une éventuelle alcoolémie chez le copilote. En effet, le taux mesuré par l'analyse toxicologique après l'accident indique une concentration d'alcool dans le sang du copilote comprise entre 0 et 0,30 grammes par litre à 18h30. Cependant les lois de décroissance de l'alcoolémie en fonction du temps ne permettent pas, à partir d'un tel intervalle, d'avancer d'hypothèse sur un taux possible au moment de la prise de contact de l'équipage à Orly.

Par ailleurs, l'enquête n'a fait apparaître aucun élément qui indique que le copilote ait pu absorber de l'alcool entre le départ d'Orly et l'accident. Dans ces conditions, la commission estime donc ne pas pouvoir retenir cet élément pour expliquer la froideur de l'ambiance constatée dans le poste de pilotage.

22.42 - Analyse du comportement individuel des pilotes au cours du vol de l'accident

Le commandant de bord prépare une stratégie d'arrivée à Strasbourg dès le début du vol et cherche à se tenir à ce qu'il a planifié aussi longtemps que possible (percée ILS 23, puis percée ILS 23 suivie d'une approche indirecte 05). Il ne retient donc pas la suggestion du copilote pour une approche VOR/DME 05, probablement directe dans l'esprit de celui-ci. Ensuite, pour éviter une attente à la verticale de SE, le commandant de bord accepte de réaliser une procédure VOR/DME 05, assortie de la proposition de guidage radar du contrôleur de Strasbourg. Sortant de la stratégie qu'il avait préparée, il semble à partir de ce moment là se situer légèrement en retard par rapport au déroulement du vol.

Bien que le commandant de bord lui ait fait remarquer deux légers manquements (oubli de répondre à un appel du centre de Reims, et insertion de la MDH dans une case inapropriée du MCDU: QAR 1923), le copilote quant à lui paraît s'adapter facilement à l'évolution des circonstances et rester en avance sur le déroulement du vol, quitte à prendre certaines initiatives sans prévenir le commandant de bord (insertion d'une approche VOR 05 au FMGS après écoute de l'ATIS). De même, il relève et fait corriger une erreur du commandant de bord sur la valeur du QFE. Enfin, lors du virage de capture de l'axe d'approche finale, il détecte que la trajectoire est trop intérieure et suggère au commandant les corrections nécessaires. Il est possible que le copilote ait ressenti la nécessité d'une surveillance accrue compte-tenu de la façon dont le commandant conduisait le vol vis à vis de la capture de l'axe d'approche finale. Ceci pourrait expliquer en partie la focalisation de son attention sur la navigation latérale et l'abandon de sa surveillance dans le plan vertical.

La commission constate que le comportement individuel des membres de l'équipage technique est cohérent avec le profil de personnalité qui a pu être établi à partir du dossier professionnel de chacun d'entre-eux.

22.43 - Analyse du comportement en équipage

La commission a relevé sur ce plan un important déficit de communication entre le commandant et le copilote, qui s'est d'abord traduit par la conduite en parallèle de deux stratégies d'approche différentes jusqu'au début de descente puis par l'omission en phase finale du vol de la plus grande partie des annonces prévues.

Ainsi, les stratégies respectives du commandant et du copilote vis à vis de l'approche sont tout d'abord différentes. Elles reflètent d'ailleurs leur différences de personnalité et d'attitude générale vis à vis de l'avion. A 17h57mn, alors que le copilote vient de prendre l'ATIS de Strasbourg qui donne la piste 05 en service, il semble opter pour une approche VOR/DME directe. A l'inverse, le commandant essaie de conserver globalement son projet initial en l'adaptant aux circonstances nouvelles: il prévoit de poursuivre l'approche ILS 23 prévue par une approche indirecte en piste 05.

Le maintien d'une cohésion de l'équipage dans ce contexte aurait supposé une communication suffisante et explicite entre le commandant et le copilote sur leurs objectifs et actions respectives, ainsi que sur les doutes exprimés et l'explication des décisions prises. Des exemples nombreux montrent qu'il n'en a pas été ainsi. Le copilote modifie l'arrivée insérée sur la page FLIGHT PLAN et remplace l'ILS 23 par une VOR 05 sans prévenir le commandant. Réciproquement, les interrogations du copilote sur les raisons de la décision du commandant d'effectuer malgré tout une approche ILS ("je ne comprend pas pourquoi tu ne tentes quand même pas une VOR DME 05") ne sont pas comprises par le commandant comme une suggestion d'approche VOR/DME directe. Sa réponse porte en effet sur la longueur d'une procédure VOR/DME complète. Le copilote n'insiste pas et tout se passe dans cette phase du vol comme s'il n'y avait pas de genèse d'un projet commun d'approche mais élaboration parallèle de deux projets différents, mal connus du coéquipier.

A partir du début de descente et tout particulièrement dans la phase finale du vol, la commission constate que de nombreuses actions ne font ni l'objet des annonces prévues par les procédures de la compagnie, ni d'une information réciproque substitutive. C'est ainsi qu'aucune annonce de changement de mode FMA n'a été faite par le copilote pendant cette phase du vol (sur les six annonces qui auraient dues être effectuées). De même, le contrôle de la trajectoire verticale de l'avion ne fait l'objet d'aucune annonce explicite permettant un réel

contrôle croisé de la part du commandant ou du copilote. La réflexion du copilote "Nous devons l'passer huit cents pieds" juste après la réponse au contrôleur de Strasbourg "Rappelle le VOR en finale" montre que le copilote exprime une préoccupation de contrôle vertical sur un point à venir, alors qu'aucun des contrôles verticaux précédents pertinents n'a été effectué.

Cette annonce est suivie par un commentaire du commandant "Faut faire attention qu'il descende pas" qui concerne peut-être l'avion et exprime alors une préoccupation de contrôle vertical plus immédiate (mais on comprend mal alors qu'il n'ait pas réagi alors que l'avion est en descente à 3300 ft/mn depuis 20 secondes). Mais ce commentaire prononcé à mi-voix n'est apparemment pas perçu par le copilote, très probablement absorbé par le contrôle latéral de la trajectoire. Dans cette phase finale, la commission constate donc à nouveau un important déficit de communication au sein de cet équipage dont le seul élément de coordination fort a été le contrôle latéral de la trajectoire.

Enfin, la focalisation des deux membres d'équipage sur le contrôle latéral de la trajectoire qui, à l'évidence, a joué un rôle important dans cet accident, a été analysée par la commission d'enquête au plan des relations internes à l'équipage. Le premier cap affiché par le commandant (très probablement 051°), à la suite de l'instruction du contrôleur de Strasbourg "Poursuivez le virage à gauche pour vous établir sur le zéro cinquante et un...", est trop faible compte tenu de la position de l'avion.

Le copilote s'en aperçoit au bout d'une quinzaine de secondes et exprime à deux reprises au commandant son appréciation quant à la capture de l'axe d'approche finale, assortie la deuxième fois d'une proposition de cap de correction. Le commandant ne réagit qu'à cette seconde intervention par deux sélections de cap effectuées à 16 secondes d'intervalle. A partir de cette phase de capture et compte-tenu probablement de la façon dont elle est conduite par le commandant, le copilote va consacrer toute son attention, outre la mise en configuration de l'avion, au contrôle latéral de la trajectoire (à l'exception de la brève annonce "Nous devons l'passer huit cents pieds) et ses interventions auront pour effet d'y verrouiller le commandant de bord, pratiquement sans interruption jusqu'à l'impact.

La commission estime que cette double focalisation sur le contrôle latéral de la trajectoire trouve pour partie son explication dans les personnalités des deux pilotes et dans les relations internes à l'équipage. Dans la phase de capture de l'axe, le commandant a éprouvé des difficultés à matérialiser sa trajectoire et à adopter rapidement les corrections appropriées. Le copilote avait quant à lui une bonne matérialisation latérale, il n'a toutefois pas annoncé le cap de capture initial affiché par le commandant et n'a prononcé une appréciation sur ce cap que quand il en a vu les effets sur la trajectoire. Le délai de réaction du commandant pour adopter la proposition du copilote peut s'expliquer, soit par le fait qu'il n'ait pas entendu la première remarque de celui-ci, soit par le temps qu'il lui a fallu pour en apprécier la pertinence, soit par une réaction de réserve à son égard. La façon dont la correction proposée est ensuite effectuée suggère la même impression de réserve. Cette attitude du commandant peut provenir de leurs différences de personnalité, ou de leur éventuel manque d'affinité. Elle paraît surtout traduire une fragilisation psychologique progressive du commandant de bord du fait de sa réticence devant la procédure VOR/DME, du fait qu'il soit finalement amené à effectuer cette procédure que son copilote lui avait initialement suggérée, du fait de la capture de l'axe ratée relevée par le copilote, et enfin du fait de la mise en descente à environ 10° de l'axe d'approche finale.

Le copilote quant à lui s'est focalisé sur la navigation latérale, compte-tenu de la façon dont la capture de l'axe était conduite par le commandant, peut-être aussi pour conforter son avantage dans leurs rapports de personnalité, par un contrôle particulièrement rigoureux du point faible apparu.

22.44 - Conclusion sur les relations internes à l'équipage

La commission estime que les deux membres d'équipage avaient des personnalités assez différentes. Elle constate également que le comportement de cet équipage a été qualifié de "réservé" par plusieurs témoins. Elle note enfin un déficit important de communication et d'annonces entre les membres de cet équipage pendant le vol. En conclusion, on observe souvent au cours de ce vol deux démarches parallèles plutôt qu'un véritable travail en équipage, dont la dernière convergence n'a été focalisée que sur le contrôle latéral de la trajectoire.

22.5 - Les rapports équipage-procédures

22.51- Le contrôle mutuel et les annonces

22.511 - Un principe essentiel de sécurité des vols avec un équipage comprenant au moins deux pilotes est la mise en oeuvre d'un contrôle mutuel. Un contrôle mutuel efficace repose sur un compromis délicat entre l'indépendance des projets d'action instantanés des deux pilotes (on ne peut contrôler qu'en étant suffisamment extérieur), et leur intercommunication (on ne peut contrôler que ce qu'on connaît et ce qu'on comprend). Deux principes sont classiquement mis en oeuvre pour satisfaire ces conditions: la répartition des tâches et les annonces.

22.512 - Une répartition des tâches définie à l'avance par les procédures de la compagnie ne permet pas seulement de gagner du temps et de l'efficacité dans l'action. En différenciant les points de vue, les priorités et les contraintes respectives des deux pilotes, en désynchronisant leurs préoccupations, elle découple les processus cognitifs, et diminue leur probabilité d'erreur de mode commun.

Les annonces à haute voix des événements essentiels (valeurs critiques, points de décision, changements de configuration, de modes, d'objectifs) constituent des vecteurs de communication entre les projets d'action, et constituent également des points de resynchronisation et de mise à jour mutuelle des représentations mentales. Cependant les exploitants ont des philosophies très diverses en ce qui concerne les annonces de pilotage. Certains prévoient l'annonce systématique par chaque membre d'équipage, ou par l'un ou l'autre d'entre eux, de tout changement de mode ou de valeur de consigne de pilotage automatique. D'autres ne prévoient que l'annonce des anomalies.

22.513 - Le partage des tâches prévu par le Manuel d'Exploitation d'Air Inter (Manuel d'utilisation, partie 1) confie au pilote désigné PF (Pilot Flying ou 1° pilote) l'action sur les commandes de vol, le contrôle de la trajectoire et de la navigation. L'autre pilote (Pilot Not Flying (PNF) ou 2° pilote) prend en charge les actions sur la configuration de l'avion, la gestion des systèmes et les communications radio.

Le manuel prévoit que tous les changements de mode signalés au FMA, ainsi que les changements de valeurs de cap et d'altitudes ou de hauteurs cibles lues au PFD doivent être annoncés. Ces annonces doivent être effectuées par le pilote non en fonction. Il n'est pas fait mention dans les annonces obligatoires des valeurs cibles de VS ou de FPA affichées au FCU.

22.514 - Comme cela a déjà été noté, de nombreuses annonces prévues par les procédures de la compagnie n'ont pas été effectuées dans la partie du vol enregistrée sur le CVR.

On peut noter en particulier l'absence d'annonce correspondant aux événements ou paramètres suivants:

- le niveau sélecté (FL 70) lors de la mise en descente depuis le niveau de croisière (le passage en mode "IDLE" "OPEN DESCENT" est annoncé);
- les valeurs successives de vitesse cible sélectées (ex: 260 Kt à 18h12mn 27s;
- les changements de mode FMA associés au début de la capture de l'altitude cible de 5000ft;
- l'engagement du mode ALT à 18h13mn46s et le cap sélecté pour virer à gauche;
- le nouveau cap sélecté à la fin de l'éloignement, la nouvelle vitesse sélectée de 180 Kt;
- le dégagement du mode ALT et l'engagement du mode VS à 18h 19mn 38s;
- les nouveaux caps sélectés pour la capture de l'axe;
- le verrouillage du train sur la position sorti (mais toutes les annonces concernant la configuration des volets ont été effectuées)

22.515 - Une bonne part des annonces prévues par les procédures de la compagnie n'a pas donc pas été effectuée. On peut ajouter à cela que l'annonce associée à la vérification du couple hauteur-distance 9 NM STR / 4300 ft n'a pas non plus été effectuée. Le constat d'un tel écart entre comportements postulés (et enseignés) et comportements pratiques, sur un élément clé des principes de sécurité, amène à s'interroger davantage sur les causes possibles du phénomène. Les paragraphes précédents ont permis de mettre en évidence les éléments suivants:

22.515.1 - Compte-tenu de leur expérience faible, de leur passé professionnel, et, en ce qui concerne le commandant, de sa personnalité et de ses réticences vis à vis de l'avion , il est presque certain qu'aucun des deux pilotes n'avait atteint un niveau de confiance excessif dans l'A320.

22.515.2 - Il existe un déficit de communication entre les membres de cet équipage. Le dialogue est strictement limité aux aspects professionnels. Les échecs répétés du copilote à faire prendre en compte ses propositions suggèrent peut-être qu'il n'inspire pas confiance au commandant. Dans ses tentatives de coopération, le respect des annonces prévues par la compagnie aurait sans doute été un facteur positif.

22.515.3 - La charge de travail, dans la mesure où on peut l'apprécier, ne semble pas élevée, sauf dans la phase d'alignement et de descente finale. Dans cette phase, et surtout à partir de la mise en descente, la commission a noté une brutale augmentation de la charge de travail (cf § 22.524 ci-après). Cette charge de travail, et notamment celle du copilote, peut expliquer une partie des absences d'annonces. En effet la philosophie en vigueur à Air Inter à l'époque de l'accident était que le PNF annonce les changements qu'il constate. Ceci implique qu'il soit assez disponible pour observer. Ce n'est pas le cas par exemple lorsqu'à 18h 19mn 38s, le commandant engage la mise en descente. En effet, à cet instant, le copilote est occupé à exécuter et à contrôler la sortie de volets vers la configuration 2, que le commandant vient de lui demander. Cependant les annonces sont déficientes même pendant les phases où la charge de travail est manifestement faible.

22.516 - En conséquence les éléments spécifiques à ce vol et cet équipage ne fournissent pas un cadre de compréhension satisfaisant du phénomène constaté. Ceci a amené la commission à élargir sa réflexion à l'effet d'éléments plus généraux, tels que la routine des vols court courrier à fréquence élevée, ou la compréhension insuffisante des besoins et des mécanismes du contrôle mutuel. La commission a été confortée dans cette idée par des indications selon lesquelles la restitution des apprentissages dans ce domaine souffre également de faiblesses dans différentes compagnies. Quelle que soit la philosophie en vigueur (annonce par le PF, par le PNF, ou par les deux, annonce de tous les changements significatifs ou des seules anomalies), il ne semble pas en effet qu'il existe aujourd'hui de solution dépourvue d'inconvénients et de points de fragilité..

La commission a aussi noté que le bruit ambiant en cockpit était élevé (compris entre 82 et 83 dB), et a convenu que ceci était susceptible de réduire le nombre des échanges vocaux, y compris ceux consacrés aux contrôles mutuels, au profit éventuel de substituts gestuels. Elle n'a cependant pas considéré que ceci pouvait constituer une explication suffisante.

22.52 - La réalisation de la procédure d'approche VOR DME

22.521 - Cadre général

Les réticences manifestes du commandant de bord vis à vis d'une approche VOR/DME peuvent s'interpréter, mais seulement partiellement car elles ne valent pas pour le copilote, comme le sentiment d'être nettement moins à l'aise dans ce type d'approche que dans une approche ILS.

Les approches "classiques" sont des approches rarement effectuées sur le réseau d'Air Inter (de l'ordre de trois par pilote et par an), et l'entraînement général des pilotes pour ces procédures est nettement moins grand que celui concernant les approches ILS. Pour ce qui concerne le type d'avion particulier, le programme de qualification de type prévoit que soient effectuées trois approches VOR et une approche NDB par équipage. Une approche VOR est demandée lors du contrôle final. Enfin le livret pédagogique d'adaptation en ligne d'Air Inter recommande aux instructeurs de faire pratiquer une approche VOR/NDB ou ILS sans glide chaque fois que cela est compatible avec le trafic d'aérodrome. Une statistique portant sur environ vingt cinq stagiaires permet d'estimer à cinq ou six le nombre d'approches VOR ou NDB pratiquées par chaque stagiaire avant le

lâcher en ligne.

Le nombre d'heures de vol effectuées par les deux pilotes du F-GGED depuis leur lâcher en ligne ne permet pas de supposer qu'ils avaient augmenté cette expérience de façon significative. Une investigation a montré d'autre part qu'aucun des deux n'avait déjà effectué une approche VOR DME à Strasbourg en A320.

22.522 - La procédure définie par la compagnie Air Inter

La procédure définie par la compagnie Air Inter dans le Manuel d'Utilisation (tome 1, procédures normales - approche classique et synoptiques associés) pour l'exécution d'une approche VOR DME prévoit les éléments suivants :

- le moyen de radionavigation servant de base à la procédure doit être affiché manuellement du côté du PNF;
- le sélecteur de référence HDG-VS -- TRK-FPA doit être placé sur TRK-FPA avant d'aborder la branche d'éloignement depuis la balise de percée;
- le statut "high accuracy" doit être vérifié;
- le PF doit sélectionner le mode ROSE NAV ou ARC NAV sur son écran de navigation, et le PNF doit sélectionner les informations primaires (ROSE VOR);
- la procédure à appliquer si des oscillations d'indications VOR supérieures à un demi point sont constatées est mentionnée;
- si le statut est "low accuracy" ou si les informations primaires (aiguilles) ne concordent pas avec les indications de son écran de navigation, le PF sélectionne également ROSE VOR;
- repère de vitesse "green dot" : les hypersustentateurs doivent être placés en position 1 avant la fin de l'éloignement;
- repère de vitesse S : pendant la seconde partie du virage de procédure, les hypersustentateurs doivent être placés en position 2, et le train sorti;
- repère de vitesse F : à 1 NM du point de descente finale, les hypersustentateurs doivent être placés en position 3;
- à 0,5 NM du point de descente finale, les hypersustentateurs sont sortis sur la position FULL (la vitesse régressant vers Vapp) si la remise de gaz volets 3 est garantie, et le plan de descente voulu est affiché au FCU;
- Le schéma synoptique montre une portion de trajectoire rectiligne longue de 1NM avant le point de descente finale.

D'autre part, le programme de l'instruction concernant les approches VOR DME et dispensée dans le cadre de la qualification de type sur A320 rappelle l'importance d'être stabilisé en vitesse, configuration et régime, sur l'axe, 1NM avant le point de descente (cependant, la mise en configuration volets FULL est prévue le cas échéant à 0,5 NM du point de descente, et la stabilisation n'est alors guère possible avant la descente). Il rappelle également les règles de base : estimation du vario en fonction du vent, recalage de la descente au moyen des distances DME, annonce des écarts de vitesse, vario, hauteur, annonce de MDH + 200ft et MDH + 100ft.

22.523 - La procédure réalisée par l'équipage

22.523.1 - La procédure réalisée par l'équipage du F-GGED diffère, sur deux points, du schéma général à partir duquel la compagnie a établi ses consignes opérationnelle: d'une part l'approche intermédiaire a été effectuée en guidage radar sur une trajectoire initiale différente de la procédure publiée, et d'autre part certaines caractéristiques de cette approche intermédiaire sont dérogatoires par rapport aux règles de conception d'une procédure (voir § 111.422).

22.523.2 - La procédure VOR DME définie pour Strasbourg comporte un hippodrome basé sur la balise SE, un éloignement depuis STR sur le radial 251° et un virage de procédure pour rejoindre l'axe d'approche finale au O51°. L'équipage n'a pas réalisé cette procédure puisqu'il a accepté la proposition de guidage radar faite par le contrôleur (voir § 22.6). Ce guidage l'a amené sur une trajectoire différente de la trajectoire publiée.

Du point de vue de la gestion du vol, on peut assimiler l'éloignement au cap 230° (sous guidage radar) à la branche d'éloignement publiée. Cependant on ne peut plus considérer dans ce cas qu'il existe une consigne compagnie quant à l'utilisation du mode HDG ou TRK. Une instruction de cap donnée par le contrôle peut être respectée dans les deux modes: soit par affichage direct en HDG, soit par affichage de la route correspondante en mode TRK (la pratique la plus couramment rencontrée en exploitation est l'utilisation du mode HDG). La consigne d'Air Inter ne valait donc dans ce cas qu'à partir de 18h18mn37s, instant auquel le FGGED a été libéré des consignes de cap du guidage radar. D'autre part il faut noter que le guidage fourni par le contrôleur radar n'a pas amené l'avion à ANDLO, contrairement au contrat proposé par le contrôle (voir § 22.6).

22.523.3 - A partir de cet instant on rencontre la particularité de conception de la procédure elle-même. En effet elle ne comporte pas de palier de décélération en vue d'aborder le segment d'approche finale. Cette particularité a pour conséquence de regrouper trois tâches normalement séparées : l'alignement sur l'axe d'approche, la mise en configuration de l'avion, et sa mise en descente. Ceci augmente la charge de travail de l'équipage. Si une difficulté apparaît dans l'exécution de l'une des tâches, le contrôle sur les autres sera relâché.

Cette même particularité peut conduire à une difficulté d'interprétation de la procédure de la compagnie concernant la mise en configuration de l'avion. En effet celle-ci prévoit la configuration 3 au moins 1NM avant "la descente finale" et full à 0,5 NM si la remise de gaz est possible en configuration 3 (ce qui était le cas pour le vol de l'accident).

22.523.4 - Si on interprète "descente finale" au sens strict du vocabulaire des procédures d'approche (segment d'approche finale), le FAF étant situé à 7NM de STR, l'équipage pouvait attendre d'être à 8 NM de STR pour cette action, alors nécessairement effectuée en descente.

Si on interprète "descente finale" au sens commun de dernière descente stabilisée, alors la mise en configuration FULL aurait dû se faire en virage (ce qui n'est pas l'usage) avant d'être à 11NM de STR, à moins que l'équipage n'ait ménagé lui-même un segment rectiligne avant le point de descente.

22.523.5 - On peut penser que l'équipage avait opté pour la première interprétation, puisqu'il n'avait toujours pas établi la configuration 3 au moment de l'accident, soit à environ 8,5 NM de STR. Le mode FPA permet d'ailleurs de réaliser facilement une décélération à pente constante. Dans ce cas, le commandant aurait été seulement préoccupé par le besoin de contenir l'augmentation constatée de la vitesse, en utilisant les aérofreins, pour pouvoir établir la configuration à temps.

22.523.6 - Mais on peut également penser que l'équipage, ou du moins le commandant, avait opté pour la seconde interprétation. En effet dans son briefing il traite de la mise en descente en disant "on libère à 11 STR" sans jamais évoquer le FAF, qui n'est d'ailleurs pas indiqué comme tel sur la carte d'approche dont il dispose.

Avec cette perspective, le sentiment d'être en retard, pour n'avoir pas établi la configuration 3 avant la descente finale, a pu s'ajouter aux préoccupations du commandant concernant l'interception de l'axe d'approche.

22.523.7 - On constate en effet que la mise en descente est commandée alors que l'avion est encore à environ 9° de l'axe d'approche. Cet écart à l'axe nominal était très probablement convenablement indiqué par les indicateurs VOR de bord. On a vu en effet (cf § 21.231.1) que rien ne signale une anomalie d'indication à ce moment du vol. Selon toute vraisemblance, le commandant était donc conscient du fait qu'il commandait la descente avec un écart par rapport à l'axe d'approche nettement supérieur à ce que tolèrent les règles de l'art, qu'il ait compris cette descente comme une descente intermédiaire ou comme une descente finale. Ceci n'a pu que renforcer son souci de rattraper au plus vite l'axe d'approche nominal.

La commission note que les règles de l'art de pilotage évoquées ci-dessus ne sont inscrites en tant que telles dans aucune réglementation opérationnelle. Ce sont des règles de pilotage classiquement enseignées, et qui sont déduites des principes de construction et de protection des procédures d'approche. Ces principes sont définies en France dans l'instruction N°20754 DNA, qui est conforme pour l'essentiel aux recommandations de l'OACI (Doc 8168-OPS). Les principes de base de protection sont expliqués aux utilisateurs dans un "Mémento à l'usage des utilisateurs des procédures d'approche et de départ aux instruments". La commission note que ce mémento est le seul document existant qui traite ce sujet et qu'il n'a pas valeur réglementaire.

En ce qui concerne le document OACI 8168, il indique:

"Lorsqu'on dispose d'un repère d'approche finale, le segment d'approche intermédiaire commence au moment où l'aéronef se trouve sur la trajectoire de rapprochement du virage conventionnel, (..)." et "(..) Si une nouvelle descente est spécifiée après le virage en rapprochement, elle ne sera pas amorcée tant que l'avion ne sera pas établi sur la trajectoire de rapprochement (on considère que l'avion est "établi" sur la trajectoire lorsque, dans le cas d'un ILS ou d'un VOR, la déviation de l'aiguille est inférieure à la moitié de l'échelle ou lorsque, dans le cas d'un NDB, l'avion est à +/- 10° au maximum du relèvement voulu)."

En d'autres termes, la tolérance sur l'écart indiqué par l'indicateur VOR, prise en compte dans la protection de la procédure est d'environ 5° pour une mise en descente sur la trajectoire de rapprochement. Un écart supérieur ne permet pas en théorie de garantir le maintien de la trajectoire de l'avion à l'intérieur des aires de protection associées au tronçon de procédure, si toutes les autres tolérances sont ajoutées. Mais cela ne signifie pas qu'en pratique, une trajectoire effective située à 10° de l'axe ne soit pas située à l'intérieur de la surface de protection. De fait, on vérifie que le FGGED est resté à l'intérieur de cette surface pendant toute sa descente. En d'autres termes, l'accident résulte d'une sortie verticale, et non pas latérale, du volume de protection.

22.524 - charge de travail

La commission a analysé la charge de travail à laquelle a été confronté l'équipage lors de l'exécution de cette procédure. Malgré le changement de stratégie décidé au voisinage de STR au profit d'une approche VOR DME, elle n'a pas trouvé d'indication que la charge de travail ait été élevée dans la première partie de la procédure, effectuée sous guidage radar. Par contre, à partir du moment où le contrôle autorise l'avion à l'approche finale (18h 19mn 23s), elle constate une augmentation brutale du rythme des actions effectuées par l'équipage. Sept secondes après avoir reçu l'autorisation d'approche finale, qui correspond aussi à la reprise de la charge entière de la navigation latérale (capture de l'axe), le commandant demande la sortie des volets vers la position 2. Pendant que le copilote exécute cette manoeuvre, le commandant modifie le cap sélecté pour afficher le 071. Six secondes après cette action, il dégage le mode ALT pour mettre l'avion en descente, et quatre secondes plus tard, il demande la sortie du train, que le copilote exécute. Deux secondes plus tard, le cap 070 est atteint. Quatre secondes plus tard, la vitesse verticale devient négative, le contrôleur demande de rappeler en passant le VOR en finale, et le copilote lui répond, et entreprend probablement de consulter la fiche de percée. Avant la fin du message du copilote, le train s'est verrouillé en position basse. Treize secondes plus tard, le commandant prend conscience de la forte valeur de la vitesse indiquée et sort progressivement les aérofreins.

En conséquence, la commission constate une augmentation brutale de la charge de travail à partir de l'autorisation d'approche finale. La commission analyse cette augmentation comme essentiellement conjoncturelle: elle résulte des particularités de la procédure évoquées précédemment, et qui amènent à effectuer simultanément la capture de l'axe et les actions de préparation de l'approche finale et la mise en descente, mais surtout de la façon dont l'équipage a géré ces particularités. A cet égard, la commission note un manque manifeste d'anticipation, que plusieurs des aspects étudiés au titre du chapitre 22 contribuent à

expliquer: expérience de l'équipage sur le type d'avion et le type d'approche, relations à l'avion, relations internes à l'équipage, relations avec le contrôle et modalités du guidage radar.

22.53 - La documentation cartographique disponible à bord

22.531 - Introduction

En ce qui concerne les documentations cartographiques disponibles à bord du F-GGED, et compte tenu des circonstances de l'accident, la commission a limité son investigation aux documents susceptibles d'être utilisés lors de l'arrivée et de l'approche.

Les volets de procédure figurent en annexe 6 et sont décrits au § 111.43.

Conformément au Manuel d'Exploitation des A320 d'Air Inter, l'équipage du F-GGED disposait d'un seul exemplaire des cartes éditées par la compagnie Air France. Il est en effet possible pour un exploitant d'utiliser une documentation aéronautique autre que la documentation officielle éditée par le Service de l'Information Aéronautique (SIA). Il convient de noter que la compagnie Air France adapte ses publications cartographiques aux spécificités de son exploitation, ce qui introduit de fait certaines différences par rapport aux publications officielles.

22.532 - Différences relevées par rapport à la cartographie officielle

L'examen comparé de la carte des arrivées standard à Strasbourg (STAR : Standard Arrival, en vigueur le 20 janvier 1992) éditée par le SIA, et de la carte "Entrées-Région de Strasbourg" (datée du 22 août 1991, à la disposition de l'équipage du F-GGED), montre en particulier que la documentation Air France regroupe sur un même feuillet les trajectoires d'arrivée pour les pistes 23 et 05, et que ces trajectoires ne sont pas clairement différenciées. Compte tenu des circonstances connues de l'arrivée à Strasbourg, il n'est pas établi que l'équipage ait exploité cette carte. Ainsi, par exemple, lorsque le commandant reçoit du CRNA Est l'instruction de passer par ANDLO, il ne révise pas sa stratégie pour l'approche alors que l'examen de cette carte aurait pu l'y inciter.

L'examen comparé de la carte d'approche "L-VORTAC Rwy 05" (datée du 3 mai 1990, en vigueur le 20 janvier 1992) éditée par le SIA, et de la carte "VOR DME 05" (datée de janvier 1991) à la disposition de l'équipage, a mis également en évidence des différences.

Seules sont évoquées ci-après les différences qui se traduisent par l'absence d'informations considérées par la commission comme significatives pour une bonne perception

de la procédure par l'équipage (voir cartes jointes en annexe 6). Ainsi, sur la carte à disposition de l'équipage:

- le virage de procédure n'est que partiellement représenté. Cette carte ne présente donc que artiellement le relief survolé en exécution de la procédure;
- le repère d'approche intermédiaire (IF, situé sur l'axe d'approche à 11 NM du Tacan STR), ainsi que le repère d'approche finale (FAF, situé sur l'axe d'approche à 7 NM du Tacan STR) ne sont pas signalés en tant que tels;
- l'altitude de passage à STR peut ne pas être comprise comme étant une altitude minimale de passage;
- les arrivées ANDLO sur les axes O74° et 107°n'apparaissent pas.

22.533 - Rappel de faits relatifs à l'exploitation par l'équipage de la carte d'approche.

Pour évaluer si cette imprécision dans les informations fournies a pu avoir une influence sur le déroulement du vol, il convient de rappeler les points suivants :

- au départ d'Orly, conformément aux pratiques Air Inter lors de la préparation de la rotation, l'équipage du F-GGED avait reçu un seul exemplaire des cartes de procédures d'approche de Strasbourg. Généralement rangés sur le rebord du tableau de bord, ces documents sont accessibles par les deux membres d'équipage.

- après avoir accepté la proposition du contrôle de se raccorder sous guidage radar à la procédure VOR DME 05, le commandant annonce au copilote "j'te remets la zéro cinq". Il est donc probable qu'il a effectué lui-même la sélection de l'arrivée en piste 05.

- ensuite le commandant a exploité la carte d'approche "VOR DME 05" (voir transcription CVR, à partir du temps 2708, pendant le virage d'éloignement) pour effectuer le nouveau briefing d'approche.

- il ne fait aucune remarque en ce qui concerne la figuration incomplète du virage de procédure.

- il précise qu'en fin de virage de procédure, "on repasse par ANDLO sur l'axe et on libère à onze STR". Il indique les hauteurs de passage aux points 9STR et 7STR, mais ne mentionne pas la hauteur de passage à STR.

- la pente de la trajectoire finale a été correctement exploitée par le commandant qui a converti l'indication fournie en pourcentage (5,5%) en valeur d'angle sexagésimal (3,3°) directement utilisable lors de la sélection au FCU de l'angle de descente.

- à aucun moment l'équipage ne mentionne le statut particulier des repères ANDLO et 7STR.

- la lecture de la carte d'approche est terminée apparemment sans précipitation avant la fin du virage d'éloignement, deux minutes et demie avant l'instruction de virage de rapprochement.

- lorsque le contrôleur demande au F-GGED de virer par la gauche au cap 090, ni le commandant ni le copilote ne mentionne que cette trajectoire ne permettra pas de survoler le point ANDLO aligné sur l'axe d'approche.

- au temps QAR 3047 l'avion est à 9 NM de STR et 570 ft au-dessous de l'altitude minimale de survol publiée. L'équipage n'annonce pas la hauteur de passage.

- au temps CVR 3038, vingt-sept secondes avant l'accident, le copilote indique la hauteur de passage de STR (cette hauteur n'avait pas été mentionnée par le commandant).

22.534 - L'absence de certaines informations sur la carte d'approche a-t-elle pu influer sur la conduite du vol?

La commission s'est efforcée de déterminer si les manques d'information constatés sur la carte Air France avaient pu influer sur le pilotage lors du dernier virage et de l'approche finale.

On constate en particulier que le fait de débuter le virage de rapprochement au moment où le contrôle a donné son instruction de virage vers le cap 90, ne permet pas de survoler le repère d'approche intermédiaire (ANDLO) en étant aligné sur l'axe d'approche.

L'absence de tout commentaire de la part de l'équipage indique qu'il est peu probable que le graphisme incomplet du virage de rapprochement ait incité le pilote à préférer écourter la trajectoire plutôt que survoler un relief non représenté sur cette carte.

Par ailleurs, le fait que le statut des repères ANDLO et 7STR ne soit pas mentionné sur la carte Air France n'était pas de nature à inciter l'équipage à écourter la procédure, d'autant que le profil de la procédure montre que la descente débute à ANDLO.

En résumé, il est peu probable que les différences constatées entre la cartographie mise à disposition de l'équipage et la cartographie officielle aient influé négativement sur la conduite du dernier virage et de la descente.

22.535 - Figuration "en escalier" du profil des approches VOR DME

La cartographie dont disposait l'équipage, reprenant en cela le principe retenu par la cartographie officielle, présente le profil vertical de la descente après ANDLO et de la descente finale par un segment de droite, qui suggère un plan continu.

D'autres représentations des procédures d'approche utilisent, dans les cas où il n'existe pas de référence radio-électrique de plan de descente (approche dite "classique), une figuration "en escalier" qui représente par des paliers les altitudes de sécurité successives.

La commission s'est interrogée sur l'effet possible de la représentation verticale dont disposait l'équipage. Ce qui compte pour la conduite en sécurité d'une telle approche, c'est la conscience qu'il existe des altitudes de sécurité successives, associées à des distances, et une bonne connaissance des couples de vérification altitude/distance.

La figuration en escalier fait ressortir de façon plus intuitive l'existence d'altitudes minimales de descente successives, mais elle ne met pas à l'abri d'une erreur de lecture, conduisant par exemple à un décalage des paliers pris en compte, comme l'a montré un autre accident récent. En ce qui concerne le FGGED, le briefing effectué par le commandant vers 18h15mn mentionnait correctement les hauteurs associées aux distances 9NM et 7NM, sans mentionner explicitement qu'il s'agissait de valeurs minimales. Cependant, dans son analyse, la commission n'a pas retenu l'ignorance éventuelle par l'équipage qu'il s'agissait de valeurs minimales comme une explication plausible de la mise en descente anormale. En conséquence, la commission ne considère pas que la figuration du profil vertical de l'approche finale sur la documentation de bord ait pu jouer un rôle significatif.

22.536 - La mise à disposition d'un seul exemplaire de carte d'approche a-t-elle pu influer sur la conduite du vol?

Le fait qu'un seul exemplaire de la documentation cartographique nécessaire soit fourni à l'équipage doit a priori forcer les pilotes à communiquer. Le pilote en fonction lit à voix haute et exploite les cartes; le pilote non en fonction assure un rôle de surveillance active. Par ailleurs dans le cas particulier du réseau Air Inter, l'expérience acquise par les équipages permet pratiquement de se passer du support cartographique après le briefing.

Un inconvénient possible serait l'impossibilité pour le pilote non en fonction de lire les documents en même temps que le pilote en fonction. Or la durée de la phase d'éloignement (environ deux minutes et demie) semble avoir été suffisante pour permettre au copilote d'exploiter l'unique volet de procédure disponible s'il en avait ressenti le besoin. Il en est de même en ce qui concerne le volet des arrivées. De plus, bien que le commandant n'ait pas mentionné la hauteur publiée de survol de STR le copilote en indique la valeur, ce qui montre qu'il a exploité la carte.

En conséquence, il n'est pas établi que le fait que l'équipage du F-GGED ait disposé d'un seul exemplaire de la documentation cartographique ait influé sur les conditions dans lesquelles ont eu lieu l'arrivée et l'approche.

22.537 - Conclusion

Les éléments qui figurent sur le volet de procédure mis à la disposition de l'équipage suffisaient à l'exécution de l'approche.

En conséquence, la commission considère peu probable que les conditions dans lesquelles se sont déroulés le virage de rapprochement, l'alignement et la mise en descente soient imputables à l'une des imprécisions constatées sur le document.

22.6 - Les rapports équipage - contrôle

22.61 - Introduction

Cette analyse porte sur la phase du vol comprise entre le moment où l'équipage a contacté le Centre de Contrôle de la Navigation Aérienne de Reims (contrôle en-route, CRNA Est) et la dernière instruction donnée par le contrôle d'approche (APP) de Strasbourg. Elle s'appuie sur la transcription du CVR, la transcription des radiocommunications, la transcription des communications téléphoniques entre le CRNA Est et l'APP, et la trajectographie du F-GGED.

La description des moyens mis en oeuvre par l'APP de Strasbourg figure aux chapitres 15, 19, 110 et 111.

En ce qui concerne la phraséologie, les références réglementaires sont l'arrêté du 7 septembre 1984 et la décision N°20285/DNA/2/6 du 10 septembre 1984 "Phraséologie", quatrième édition, juin 1991.

22.62 - Phase du vol contrôlée par le CRNA Est

A 17h53m47s, le F-GGED entre en contact radio avec le CRNA Est. Celui-ci l'autorise à "procéder Luxeuil et arrivée standard pour Strasbourg".

Il n'y avait pas nécessité pour le contrôleur du CRNA Est de préciser la piste en service à Strasbourg puisque cet aéroport possède un ATIS. On peut noter à ce sujet que lorsque l'équipage consulte cet ATIS, à 17h 56mn, il reçoit l'information Novembre, enregistrée à 16h. Cette information a donc plus d'une heure, ce qui n'est pas conforme à la réglementation en vigueur. Cependant les informations reçues sont globalement valides, et ce retard de mise à jour n'a pas eu d'influence sur le déroulement du vol. En ce qui concerne l'arrivée prévue par le contrôle, le terme "standard" n'est pas explicite (bien qu'il soit couramment utilisé par les pilotes et les contrôleurs). En provenance du VOR LUL, plusieurs trajets d'arrivée sont possibles. Quelle que soit la piste en service à Strasbourg, tout aéronef à l'arrivée et passant par le VOR LUL (Luxeuil) doit suivre la route magnétique (RM) 041 jusqu'au point OBORN si la piste 23 est en service, ou jusqu'au point situé à 21 NM de STR sur le radial 041 de LUL si la piste 05 est en service (ce qui était le cas lors de l'arrivée du F-GGED). Ensuite, pour effectuer l'approche VOR DME 05, l'alternative est la suivante : soit réaliser l'intégralité de la procédure via ANDLO puis SE, soit effectuer une approche directe via ANDLO. Ceci nous montre que dans le cas du F-GGED le terme "standard" n'apporte en fait aucune information précise à l'équipage en ce qui concerne la route à suivre après LUL. Le commandant a pu interpréter cette instruction comme étant significative de l'absence de contrainte dans le choix de l'approche (ILS 23 suivie d'une manoeuvre à vue libre pour atterrissage en piste 05, ou approche VOR DME 05).

Il convient de noter qu'à l'époque de l'accident, les trajectoires d'arrivée à Strasbourg n'étaient pas dénommées. Dans ces conditions, pour préciser la route que devait suivre le F-GGED, le contrôleur n'avait d'autre solution que d'énumérer les points à survoler, ce qui n'a pas été fait. L'équipage quant à lui, n'a pas demandé plus de précision : il a simplement collationné l'instruction "Luxeuil et standard pour Strasbourg".

A 18h06m13s, l'équipage informe le CRNA Est qu'il souhaiterait "descendre dans une minute". Le CRNA Est autorise la descente vers le niveau de vol 130.

Auparavant, à 18h01m34s, le CRNA Est avait appelé l'APP de Strasbourg pour l'informer de l'arrivée du F-GGED. L'APP avait alors constaté que la trajectoire du vol Air France 1870, au départ de Strasbourg, interférait avec celle du F-GGED. En conséquence, il avait été convenu entre les deux organismes de contrôle que le CRNA Est assurerait le croisement des deux appareils et dirigerait le F-GGED vers ANDLO, en descente vers le niveau 70.

Selon le témoignage du contrôleur d'approche, cette solution avait été choisie dans le but de réduire le temps de vol du F-GGED en lui permettant d'effectuer une approche VOR DME 05 directe. Cette coordination s'est faite en conformité avec les termes de la lettre d'accord existant entre les deux organismes de contrôle (1er juillet 1990) qui précise que "l'APP peut demander au CRNA Est de mettre les arrivées en provenance de LUL ou EPL directement sur ANDLO, en vue d'une approche vers la piste 05".

Le CRNA Est assure le croisement des deux appareils puis transfère le F-GGED à l'APP en descente vers le niveau 70 sur ANDLO, sans avoir précisé la route à suivre après ANDLO. Il convient de relever ici le commentaire du commandant : "ANDLO, oh là, ils me cassent les pieds avec leur truc là ..." (voir CVR, temps

2223). Cette réaction s'explique probablement par le fait que le point ANDLO ne figure pas au plan de vol pour une approche ILS 23. ANDLO n'était donc pas affiché sur l'écran de navigation. L'instruction reçue a imposé une action du commandant décrite dans le § 117.723. Cette critique du commandant n'est pas suivie d'une remise en question de sa stratégie d'approche, ni d'une interrogation adressée au contrôleur sur la route à suivre après ANDLO. L'équipage n'a probablement pas établi de relation entre cette instruction et le fait que le contrôleur de Strasbourg avait prévu qu'il fasse une approche directe, et donc qu'il passe par ANDLO.

22.63 - Phase du vol contrôlée par l'APP de Strasbourg

22.631 - L'arrivée sur ANDLO

Le contact direct entre le F-GGED et l'APP est établi pour la première fois au cours de ce vol à 18h09m01s.

On remarque que l'équipage n'accuse pas réception de l'information (Oscar) diffusée par l'ATIS de Strasbourg. Ceci n'est pas conforme à la phraséologie réglementaire. De même, la réponse de l'APP n'est pas conforme à la phraséologie réglementaire. En effet le contrôleur aurait dû s'assurer auprès de l'équipage qu'il était bien en possession des informations de l'ATIS ou mieux, donner directement à l'équipage tous les éléments qu'il était sensé recevoir sur l'ATIS.

Dès le premier contact l'APP autorise l'A320 à procéder sur le point ANDLO en lui demandant sa distance : "... procédez ANDLO ; votre distance ?". L'instruction de route est, là encore, incomplète. Elle aurait dû en effet indiquer soit un point de report après ANDLO, soit une proposition de procédure à engager à partir de ce point en vue de l'atterrissage. Par ailleurs, le contrôleur demande une distance sans préciser par rapport à quel point ou moyen de radionavigation doit se positionner l'équipage. L'équipage répond : "on est à vingt deux nautiques DME STR". Le contrôleur a posé cette question pour s'assurer que l'avion est à une distance proche de "21 NM STR" à partir de laquelle l'appareil peut voler à 5000 pieds QNH (voir sur la carte d'approche : l'altitude de sécurité est à 4800 pieds à partir de 21 NM STR dans un secteur défini qui contient la route du F-GGED). Compte tenu de l'information d'altitude pression affichée sur l'écran radar, le contrôleur anticipe et autorise la descente vers l'altitude de 5000 pieds "Reçu, vous poursuivez la descente vers cinq mille pieds au QNH mille vingt-trois". Le commandant vérifie que le suivi de cette instruction est compatible avec l'altitude de sécurité (voir CVR, temps 2398 et 2400).

Le contrôleur ajoute : "rappelez ANDLO cinq mille pieds".

Cette instruction peut être interprétée de différentes façons. En tous cas, elle n'indique pas explicitement ce qui, dans l'esprit du contrôleur (et toujours selon son témoignage), correspondait à une autorisation donnée au F-GGED de se présenter à la verticale du point ANDLO stable à 5000 pieds, de façon à effectuer une approche directe VOR DME 05.

A 18h11m51s, alors que le F-GGED vient de signaler son passage verticale ANDLO, le contrôleur lui répond : "... vous êtes numéro un pour la VOR DME zéro cinq, rappelez passant le VOR en finale". L'équipage prend alors conscience de la stratégie du contrôleur.

Entre cette instruction et l'acceptation par le commandant d'un guidage radar pour revenir sur ANDLO, il s'écoule environ une minute et demie, durée pendant laquelle les événements se précipitent :

- compte tenu de la position de l'avion et de sa configuration, l'approche directe n'est plus réalisable (voir § 21.35).
- pour la première fois l'équipage avise le contrôleur de son intention de " (..) procéder Sierra Echo, faire un ILS avec une indirecte pour la zéro cinq ensuite".
- le contrôle informe alors l'équipage que le choix d'effectuer la procédure ILS 23 imposera probablement une attente car trois décollages sont prévus en piste 05 (voir CVR, temps 2596).
- manifestement pour éviter que l'exécution de l'approche soit retardée, le commandant décide alors

d'effectuer une procédure VOR DME 05 complète (voir CVR, temps 2608). Il fait ensuite remarquer au copilote que le contrôle aurait dû le prévenir à l'avance de ces contraintes de trafic puisqu'elles influent sur le choix de la procédure la mieux adaptée aux circonstances. Cette remarque peut être interprétée comme une critique vis à vis du contrôleur d'approche qui n'aurait pas pris en compte la nécessité d'un préavis suffisant (notamment pour réduire la vitesse de l'avion).

- alors que le F-GGED arrive à la verticale de STR, le contrôleur propose un guidage radar pour rejoindre ANDLO (voir CVR, temps 2636). Ceci permet d'écourter la procédure.

- cette solution satisfait le commandant. Il l'accepte immédiatement.

22.632 - L'éloignement

L'instruction de changement de code transpondeur suit immédiatement, accompagnée de l'instruction de virage à gauche vers le cap d'éloignement 230°.

Le contrôleur commente la solution adoptée : "voilà, ça vous fera gagner du temps", et le commandant exprime clairement son approbation (voir CVR, temps 2654).

(Pendant le guidage radar et l'approche finale du F-GGED, le contrôleur d'APP gère trois départs IFR).

Au cours du virage, le contrôleur fournit, de sa propre initiative, une information de position : "... six nautiques radial deux cent quatre vingt dix de Strasbourg". Elle est donnée par rapport à la position de l'antenne radar et n'est pas directement exploitable par l'équipage, puisque la position du radar n'est mentionnée ni sur la carte "Entrées", ni sur la carte d'approche, ni sur l'écran de navigation (voir § 21.3). La transcription du CVR montre qu'immédiatement après l'accusé de réception du copilote, le commandant qui était en train de décrire à voix haute la procédure VOR DME, reprend immédiatement ce travail et calcule le plan de descente. Ni lui, ni le copilote ne commente l'information de position fournie par le contrôleur.

L'éloignement au cap 230 dure environ deux minutes et demie, durée pendant laquelle l'équipage effectue certaines actions détaillées dans le § 21.3. Au cours de cet éloignement, le commandant évoque une fois de plus la nécessité d'une anticipation suffisante pour préparer une approche. Il est probable qu'il n'ait jamais envisagé la possibilité d'effectuer une approche VOR DME 05 directe et que pour lui le choix était limité à l'ILS 23 et la VOR DME avec survol de la balise SE, tout en donnant pour des raisons d'ordre opérationnel une nette préférence à la procédure ILS.

22.633 - Le virage de rapprochement

Lorsque le contrôleur donne l'instruction de virage à gauche au cap 90, le commandant exécute immédiatement la mise en virage. Il change le mode d'affichage de son écran de navigation (il passe du mode ARC NAV au mode Rose VOR). L'équipage ne fait aucun commentaire sur la validité de l'instruction de route qui vient de lui être donnée. Or l'examen de la trajectographie montre que le choix du cap 90 ne permettait pas le survol d'ANDLO.

Rappelons qu'il est très probable que la matérialisation de l'axe d'approche VOR DME 05 ainsi que celle des points ANDLO et/ou STR07 était disponible sur les écrans de navigation dès sélection au MCDU de la procédure VOR DME 05 (voir enregistrement QAR et § 117.7). La simulation décrite au § 117.7 n'a pas permis de déterminer si le point ANDLO était ou non affiché sur l'écran de navigation. Par contre il a été montré que dans tous les cas possibles d'affichage, le point STR07 est présenté sur l'écran.

Quarante secondes plus tard l'équipage reçoit du contrôleur une nouvelle instruction de route accompagnée cette fois d'une information de position par rapport au point ANDLO : "Air Inter Delta Alpha poursuivez le virage à gauche pour vous établir sur le zéro cinquante et un, vous êtes à quatre nautiques d'ANDLO ... travers gauche ANDLO". A cet instant, il est clair que le guidage radar ne permettra pas le survol d'ANDLO. La trajectoire sol de l'avion (cf annexe 12) se resserre nettement, sous le double effet de la réduction de vitesse et de la rotation de la direction relative du vent, qui entraînent une diminution importante de la vitesse sol, alors que l'inclinaison est maintenue constante par le pilote automatique.

Il se peut que l'instruction du contrôleur ("poursuivez le virage à gauche pour vous établir sur le 051...") ait été interprétée par le pilote aux commandes comme: "maintenez vos éléments, et ceci vous amènera sur le 051". On note d'ailleurs dans la suite de la procédure d'autres indices d'une tendance de ce pilote à se laisser conduire par le contrôle.

La transcription du CVR montre en tout cas que cette instruction ne suscite aucun commentaire de la part de l'équipage, notamment en ce qui concerne l'impossibilité de survoler ANDLO. Le commandant a sélectionné pendant quelques secondes l'affichage du mode ARC en remplacement temporaire du mode Rose VOR. Si ANDLO était présenté sur l'écran, il a pu s'assurer que la position calculée par le FMS était conforme à la position indiquée par le contrôleur. On peut aussi interpréter l'absence de réaction par le fait que l'affichage de la carte lui aurait permis de constater que la trajectoire suivie permettrait l'interception de l'axe avant le point 7STR, et que ce constat lui ait "suffit".

Rien n'indique que le commandant ait exploité la carte d'approche pendant cette phase du vol.

L'instruction de route fournie dans le cadre du guidage radar n'a pas permis au pilote d'aligner l'avion à ANDLO. De ce fait l'équipage n'a pas disposé de la totalité du tronçon d'approche intermédiaire ménagé pour préparer l'approche finale (réduction de vitesse et mise en configuration de l'avion). Cet inconvénient est venu s'ajouter au fait que ce tronçon d'approche est en descente, ce qui constitue un aspect dérogatoire examiné au § 111.42. Dans ces conditions, l'équipage a été contraint d'effectuer quasiment simultanément des actions que la procédure prévoit d'effectuer séquentiellement (sortie de virage et alignement, réduction de vitesse, préparation avion).

Le règlement de la circulation aérienne en vigueur à l'époque de l'accident (RAC 3-10-07 daté du 22 février 1965) ne comporte aucune précision relative à d'éventuels critères à respecter dans le cadre d'un guidage radar pour interception d'axe d'approche finale.

Par contre le RCA 3-121 daté du 16 mars 1992 et applicable à partir du 2 avril 1992 précise que :

"Lorsque l'aéronef doit exécuter l'approche finale à l'aide d'un moyen autre que le radar, le dernier cap fourni lors du guidage radar doit permettre à l'aéronef de rejoindre l'axe final sous un angle maximal de 45°. Le guidage fourni doit permettre aux aéronefs d'effectuer sur l'axe un palier d'au moins 30 secondes avant d'intercepter le plan de descente nominal.

Un aéronef qui se propose d'utiliser une aide d'approche finale dont les données sont interprétées par le pilote doit recevoir pour consigne de rappeler lorsqu'il est bien établi sur la trajectoire d'approche finale. Le guidage prend fin à ce moment."

La commission note d'une part que le guidage fourni au F-GGED ne permettait pas de ménager un palier sur l'axe d'approche, d'au moins 30 secondes avant d'intercepter le plan de descente nominal, et d'autre part, que le guidage a pris fin avant que l'appareil soit établi sur la trajectoire d'approche finale.

Tout en rappelant que ces points de règlement n'existaient pas à l'époque de l'accident, la commission constate que l'application de ces consignes aurait probablement évité toute précipitation lors de la préparation de l'avion et de la mise en descente.

En ce qui concerne l'information de position "travers gauche ANDLO", on remarque qu'elle n'est pas conforme à la phraséologie réglementaire. Elle est ambiguë, car la notion de droite ou de gauche peut être référencée soit à la trajectoire de l'avion ("vous avez ANDLO par votre travers gauche", soit à l'orientation de la carte radar " je vous vois au travers gauche d'ANDLO sur mon écran". Selon son témoignage, le contrôleur voulait indiquer à l'équipage : "vous avez le point ANDLO par votre travers gauche". Elle aurait dû être formulée ainsi : "... position quatre nautiques nord-ouest ANDLO".

L'avion est en rapprochement approximativement dans le 330° d'ANDLO lorsque le contrôleur autorise l'équipage à effectuer l'approche finale (voir CVR, temps QAR 2991). Cette autorisation signifie que le guidage radar est terminé. Elle est assortie d'une information de position, qui utilise à nouveau l'expression "travers (droit)". Cette information de position est donnée en application de la Réglementation de la Circulation Aérienne RAC-3-10-05 § 3.3.3, concernant le guidage radar : "Lorsque l'aéronef à l'issue du guidage radar a

rejoint (ou est sur le point de rejoindre) un cheminement radiobalisé usuel, la position de l'aéronef sera précisée au pilote".

Dans la logique précédente, en donnant l'information de position "travers droit ANDLO", le contrôleur voulait indiquer à l'équipage : "vous avez le point ANDLO par votre travers droit". Comme cela a déjà été noté, elle n'est pas conforme à la phraséologie réglementaire, et elle est ambiguë. L'équipage n'a cependant fait aucun commentaire.

22.634 - La mise en descente

Sans qu'il soit possible d'établir formellement une relation directe de cause à effet, on remarque qu'immédiatement après l'accusé de réception de l'autorisation d'approche le commandant demande au copilote de mettre l'avion en configuration 2 ("flaps vers deux") puis débute la descente à 11 NM de STR.

A cet instant, l'avion n'est pas aligné sur l'axe d'approche. Il est approximativement sur le radial 060 soit encore à environ 10° de l'axe.

On peut remarquer d'ailleurs que les initiatives des deux changements de configuration effectués semblent s'appuyer plus sur les messages du contrôle que sur une perception claire et anticipée des segments de la procédure. La configuration 1 devait être établie avant la fin de l'éloignement : on constate que l'équipage a conservé un vitesse élevée (230 Kt) et que ce changement de configuration suit d'une vingtaine de secondes le début du virage à gauche demandé par le contrôle. On constate de même que le passage en configuration 2 est commandé 7 secondes après l'autorisation "Air Inter Delta Alpha, travers droit ANDLO, autorisé à l'approche finale".

Il ressort de ce constat que le commandant s'est probablement entièrement reposé sur le contrôleur à partir de l'instant où celui-ci lui a proposé un guidage radar pour revenir sur ANDLO. C'est le copilote qui attire son attention sur la nécessité de desserrer le virage. En fin de virage de procédure, l'équipage focalise probablement son attention sur la navigation latérale. L'autorisation d'approche finale paraît être l'événement déclenchant la décision de mise en configuration de l'avion et de mise en descente. Elle a pu faire l'effet d'une autorisation de descente, alors que la décision de mise en descente était de la seule responsabilité de l'équipage.

Quelques secondes plus tard (voir CVR, temps 3019), le contrôleur demande à l'équipage de rappeler le VOR en finale. Le copilote en accuse réception. C'est le dernier échange entre le contrôle et l'équipage.

Bien que le guidage radar ait pris fin (voir § 111.32), la commission a tenté d'évaluer si, compte tenu de la précision de la piste radar, la position du plot et l'indication d'altitude pression du F-GGED auraient pu alerter le contrôleur.

L'image visualisée sur l'écran du contrôleur d'approche de Strasbourg n'est pas enregistrée. Le témoignage du contrôleur (cf § 120.5) indique qu'il avait sélectionné l'échelle 50NM. Des mesures réalisées sur une image réglée à cette échelle montrent qu'un avion situé à 10 NM de l'aéroport de Strasbourg est représenté par un plot d'environ 3 mm de large, soit environ 1NM à l'échelle; à 20 NM le plot a une largeur d'environ 5 mm, soit environ 1,5 NM à l'échelle (le diamètre de l'écran est d'environ 35 cm). Compte tenu des trajectographies obtenues à partir des pistes radars enregistrées, le centre du plot était donc probablement légèrement au nord de l'axe d'approche affiché sur l'écran, sans que cela puisse être considéré par le contrôleur comme significativement anormal. De plus, à cet instant, l'appareil était encore approximativement sur le plan de descente nominal. L'information issue de l'alticodeur et affichée sur l'écran n'indiquait donc, a priori, aucune anomalie de trajectoire. D'autant plus que pour un avion descendant à 3000 ft/mn, le niveau lu par le contrôleur est supérieur d'environ 500 ft au niveau réel de l'avion. En conséquence ce n'est qu'au mieux dans les vingt dernières secondes de vol qu'une situation anormale aurait probablement pu être détectée.

22.64 - Conclusion

Le contrôle d'approche avait prévu que le F-GGED effectue une approche VOR DME 05 directe. Pourtant, ni le trajet d'arrivée à Strasbourg ni le type d'approche n'ont été clairement indiqués à l'équipage. Le quiproquo concernant la procédure d'approche aurait été évité par une formulation précise de la route prévue par le

contrôle pour ce vol.

Contrairement à ce qui avait été proposé par le contrôleur, le guidage radar n'a pas permis l'interception de l'axe d'approche à ANDLO. Dans ces conditions la phase d'approche intermédiaire a été tronquée.

A diverses reprises, la phraséologie utilisée n'a pas été conforme à la réglementation en vigueur. Cependant il n'est pas établi que les écarts constatés aient influé sur le déroulement du vol.

Le commandant n'avait pas envisagé l'éventualité d'une approche VOR DME 05 directe. Le guidage radar proposé lui permettait d'écourter la procédure. Il l'a immédiatement accepté et semble s'être contenté, en ce qui concerne le suivi de la navigation horizontale, d'exécuter les instructions données par le contrôleur jusqu'à la fin du guidage radar.

22.7- rapports équipage - environnement

22.71 - Introduction

Les circonstances connues de cet accident ont amené les enquêteurs à examiner l'éventuelle influence des conditions météorologiques sur la conduite du vol.

22.72 - Les conditions météorologiques

L'enquête a établi que la descente depuis le niveau de croisière vers l'altitude de 5000 pieds s'est tout d'abord déroulée dans un ciel pratiquement dégagé de nuages (quelques bancs d'altocumulus résiduels ont pu être rencontrés à une altitude voisine de 10000 pieds), puis s'est poursuivie à partir de 6000 pieds environ dans une couche de strato-cumulus.

Il faisait nuit mais les conditions d'éclairement étaient probablement telles que l'équipage a nettement perçu l'entrée dans la couche de nuages puisqu'elle s'est traduite par la perte de visibilité extérieure.

C'est très probablement ce constat qui a incité l'équipage à mettre en oeuvre les systèmes d'anti-givrage des nacelles moteurs.

Les observations météorologiques et les témoignages recueillis sont concordants et indiquent que le vol s'est poursuivi dans la couche de nuages jusqu'à l'impact avec le sol. L'équipage n'avait donc aucune référence visuelle extérieure.

En ce qui concerne le givrage, il convient de noter que les témoignages recueillis auprès d'équipages ayant effectué l'approche peu avant ou peu après le F-GGED font état de conditions givrantes modérées conformes à l'exploitation des paramètres météorologiques disponibles. L'examen des enregistrements de paramètres moteurs et des moteurs eux-mêmes a permis de réfuter totalement l'hypothèse d'une dégradation de leurs performances.

L'intensité du vent rencontré entre 5000 pieds et l'altitude de l'accident a été évalué à une vingtaine de noeuds (soit 35 km/h environ) et aucun phénomène de turbulence significative n'a été rapporté.

22.73 - Conclusion

Les conditions météorologiques rencontrées, sans être idéales du fait de l'absence de visibilité, ne présentaient pas en elles-mêmes un caractère dangereux.

CHAPITRE 2.3 - ANALYSE DES CONTEXTES REGLEMENTAIRE ORGANISATIONNEL, STRUCTUREL

Après avoir établi dans la mesure de son possible le scénario factuel de l'accident (chapitre 21), puis avoir analysé les mécanismes sous-jacents ayant directement ou indirectement contribué à produire, dans le temps de ce scénario, les anomalies constatées (chapitre 22), la commission a examiné les éléments de nature réglementaire, organisationnelle, socio-économique ou culturelle, participant au contexte de l'exploitation du FGGED, et susceptibles d'avoir induit, favorisé ou permis l'action des mécanismes en question. La commission

a notamment fait porter sa réflexion sur la compagnie Air Inter, les services de la DGAC chargés de sa tutelle technique, la certification de l'avion, le retour d'expérience.

23.1 - Le contexte lié à la compagnie Air Inter

23.11 - Les caractéristiques du réseau et de l'exploitation

23.111 - Les caractéristiques particulières du réseau et de l'exploitation d'Air Inter ont été rappelées au chapitre 17. La commission a noté en particulier la forte culture de respect des horaires et de contraction des temps de vol qui caractérise la compagnie, comme résultat notamment des attentes de la clientèle et de la concurrence des transports de surface. La prise en compte de ces contraintes s'est traduite, aux niveaux de la maintenance et du traitement des vols à l'escale, par la mise en oeuvre opérationnelle d'un dispositif particulièrement efficace et adapté aux solutions rapides. Au niveau des procédures d'utilisation des avions, elle s'est traduite par une pratique générale de descentes et d'approches rapides.

23.112 - La commission n'a pas trouvé dans son analyse du scénario et des mécanismes de l'accident d'éléments susceptibles d'être rapprochés de façon pertinente de ce qui précède. L'équipage du F-GGED n'était pas en retard (il était plutôt en avance sur son horaire d'une ou deux minutes). Le CVR ne comporte pas d'indication que la préoccupation de gagner du temps ait pu jouer un rôle important dans les choix stratégiques effectués au cours du vol et dans les difficultés rencontrées. Les seules allusions au temps de vol sont les suivantes:

- à 18h04mn, le commandant justifie auprès du copilote son refus d'effectuer une approche VOR DME 05 par la perte de dix minutes de vol par rapport à une approche ILS 23. En fait ceci n'aurait été vrai que dans le cas où la procédure complète aurait été effectuée. Un souci systématique de gain sur le temps de vol aurait au contraire incité le commandant à s'interroger sur les possibilités d'approche directe en piste 05.

- à 18h13mn44s, le contrôleur commente sa proposition de guidage radar vers Andlo, qui vient d'être acceptée par l'équipage, en disant: "voilà, ça vous fera gagner du temps". En fait, le guidage radar conduit normalement à un plus grand confort dans la conduite de l'approche.

23.113 - En revanche la commission a rapproché les conclusions négatives qui ont été tirées par Air Inter quand à la compatibilité du GPWS avec son exploitation quotidienne, et les particularités de cette exploitation évoquées plus haut. Elle a noté que la décision négative avait été prise au terme d'une expérimentation pratique approfondie conduite par la compagnie dans les années 1976 et 1977 sur le GPWS, en particulier à cause d'un taux excessif d'alarmes ne correspondant pas à une anomalie dangereuse de trajectoire. La réduction de ce taux aurait probablement imposé, en plus d'une évolution de la technique, une révision importante des procédures d'utilisation des avions en approche, et même de certaines procédures d'approche publiées. La commission considère en conséquence que cette culture de compagnie est un élément important de compréhension de la position négative prise par cette compagnie à l'égard du GPWS.

23.114 - Parmi les autres caractéristiques de l'exploitation d'Air Inter susceptibles d'être soulignées comme éléments de contexte pertinents, la commission a retenu la haute fréquence des vols, la répétitivité importante qui en résulte pour les actions de l'équipage, ainsi que la proportion considérable d'approches ILS par rapport aux approches de non précision. La répétitivité des vols induit inévitablement un fort effet de routine, particulièrement néfaste à la pérennité des annonces. La relative rareté des approches VOR/DME et autres approches "classiques" a certainement incité le système de formation de la compagnie à mettre l'accent surtout sur les approches automatiques de précision. Elle contribue peut-être à expliquer la réticence constatée chez le commandant de bord vis à vis de la perspective d'effectuer un telle approche pour la piste 05.

23.12 - Les effets indirects du climat social

23.121 - La commission a noté qu'à Air Inter, la mise en service de l'avion s'était effectuée dans un climat social tendu, du fait du rejet par une partie des navigants techniques d'un avion conçu pour un équipage à deux. Dans ce contexte, antérieur au développement de l'A320, les positions se sont radicalisées à propos de

cet avion. L'argument de la sécurité fortement invoqué pour justifier l'équipage à trois, en résonance avec les nombreuses difficultés rencontrées dans la mise au point technique de l'avion dans la première année d'exploitation, et l'accident survenu à Habsheim en juin 1988, ont induit une atmosphère de suspicion sur l'avion et sa sécurité. Des rumeurs se sont développées sur des comportements fantasques des automatismes, qui ont amplifié certaines réticences individuelles vis-à-vis de l'innovation importante représentée par ce type d'avion dans cette compagnie.

23.122 - La commission a retenu dans sa réflexion que ce climat particulier avait pesé ou pu peser dans les décisions, positions, ou attitudes suivantes prises par les responsables de la compagnie Air Inter:

- la décision de traiter l'A320 comme un avion à part, en utilisant pleinement le principe, traditionnel dans la compagnie, d'une structure spécifique pour sa prise en charge technique et opérationnelle, et en mettant en place un système de formation des équipages de haut niveau (cf § 23.131 ci-après) de façon à minimiser les risques d'échec;

- le recours traditionnel au volontariat, possible jusqu'en janvier 1991, pour la désignation des pilotes appelés à passer sur A320 a entraîné un tri de fait des pilotes les plus motivés, ou se sentant les plus capables, pour la première période de formation. A partir de la mi-1991, l'arrivée en formation des autres pilotes, principalement en provenance du secteur Caravelle 12 en extinction, a conduit à quelques difficultés, qui ont été compensées par l'allongement de l'adaptation en ligne, qui est passée de cinq à sept vols;

- la décision de ne pas choisir l'option GPWS, malgré son faible coût compte tenu du précablage de série. Cette décision a été argumentée par le souci de conserver l'homogénéité de la flotte. Compte tenu de la structure spécifique mise en place pour cet avion, y compris sur le plan de la maintenance, il pourrait bien s'agir d'un souci plus psychologique que technique: ne pas traiter sur ce point l'A320 différemment des autres appareils de la flotte pour ne pas offrir de point d'appui à la polémique sur le niveau de sécurité de l'appareil en équipage à deux;

- une politique de diffusion restrictive de l'information concernant les difficultés techniques et opérationnelles rencontrées dans la mise en oeuvre et l'exploitation de l'avion, et une mise en avant des résultats techniques positifs obtenus en exploitation (en 1989 et 1990, Air Inter a reçu d'Airbus Industrie la récompense de la meilleure exploitation technique de l'A320).

23.123 - D'autre part, ce climat a pu peser sur chaque navigant de la compagnie, en l'obligeant souvent à prendre parti. Dans ce contexte, d'éventuelles difficultés en cours de conversion sur A320 étaient susceptibles d'être interprétées comme une prise de position.

23.13 - Eléments concernant la formation

23.131 - La commission a cherché à évaluer la qualité de la formation dispensée aux pilotes du F-GGED dans le cadre de leur qualification de type A320 à Air Inter. Son impression générale est que ce programme de formation semble globalement se situer au sommet de ce qui se fait dans ce domaine au plan international.

23.132 - Ses points forts sont essentiellement l'utilisation conjointe d'enseignement assisté par ordinateur (EAO) et de cours en salle par des instructeurs techniques pour la formation théorique, le nombre total d'heures de cours (55h pour l'étude des systèmes) et de simulateur (44h de FBS et 32h de FFS), le module de complément technique après un mois d'expérience en ligne. Ses points faibles sont résumés dans un certain déséquilibre des efforts investis dans la connaissance des systèmes (ce qui reste évidemment un objectif normal de toute qualification de type) et des procédures d'urgence/secours et d'approche de précision, au détriment de l'utilisation "normale" de l'avion. Or en pratique les problèmes graves, et en particulier les accidents, rencontrés sur cette génération d'avion semblent résulter plus de mauvaises utilisations de systèmes par ailleurs dans leur état de fonctionnement normal que des conséquences de défaillances techniques graves.

23.133 - L'entraînement aux approches classiques est dimensionné à partir du postulat que le savoir faire déjà

possédé par les pilotes dans ce domaine sera transféré sans problème particulier sur A320. Un total de quatre approches est prévu au programme pour cette adaptation de compétence. Or l'approche VOR DME sur A320 présente deux spécificités: il n'existe pas de mode latéral de pilote automatique couplé sur le VOR, et il existe par contre un mode de pilote automatique ou de directeur de vol couplé sur un plan de descente sélectable (FPA).

L'utilisation de cette nouvelle fonction comporte, comme toute fonction, ses difficultés et ses risques d'erreur spécifiques. Certaines compagnies en ont proscrit l'utilisation plutôt que d'en enseigner le mode d'emploi. De plus, les approches classiques sont des approches rarement effectuées en ligne, ce qui conduit à un sous-entraînement chronique des équipages dans ce domaine. La commission a donc estimé qu'il existait un besoin de renforcement de la formation aux approches classiques lors des qualifications de type sur avion de nouvelle génération, par rapport au programme de la compagnie Air Inter.

23.134 - La commission a noté l'existence chez Air Inter d'un stage préparatoire à la qualification de type proprement dite (le stage STAN). Ce stage a été conçu globalement comme un module de formation technique académique sur l'électronique, l'automatique, les automatismes et l'avionique moderne. Il est destiné aux pilotes et aux techniciens de la compagnie et se veut un outil de démythification de l'avion pour les pilotes qui découvrent ces techniques de nouvelle génération. Cependant il n'est pas exclu que cet effort de démythification se soit révélé en quelque sorte trop efficace pour certains pilotes. En particulier, on peut se demander si certains pilotes de la deuxième période, ceux qui avaient une approche moins motivée et peut-être aussi moins rationnelle de l'avion, ne sont pas passés à cette occasion de la méfiance systématique à une confiance systématique dans certains automatismes particulièrement pratiques.

La commission a en revanche hautement reconnu (cf en particulier § 22.23) l'ampleur de la transition représentée par le passage sur un avion du type de l'A320 pour un pilote n'ayant qu'une expérience d'avion classique de conception ancienne, et de pilotage en équipage à trois. Elle soutient en conséquence le principe d'un module d'adaptation pour les pilotes effectuant leur première transition sur un avion de nouvelle génération. Elle considère cependant que ses objectifs devraient être différents de ceux poursuivis par le stage STAN, et devraient être centrés sur une présentation fonctionnelle de la conception et de la philosophie d'utilisation des automatismes de haut niveau, ainsi que sur les modifications et les problèmes qu'ils induisent dans le travail de l'équipage: gestion des anomalies de fonctionnement, problèmes de surveillance, de surconfiance, de conscience de la situation réelle et de communication entre pilotes, caractère critique du contrôle mutuel.

23.2 - L'exercice de la tutelle de la DGAC sur Air Inter

23.21 - Le contrôle de la DGAC sur l'exploitation de l'A320 à Air Inter

23.211 - La commission a mis en évidence dans différentes parties de son analyse un certain nombre d'anomalies dans la performance de l'équipage. Elle a relevé en particulier l'absence d'annonces sur les valeurs de consigne, sur le changement de mode de pilotage automatique, et sur le contrôle vertical de la trajectoire dans la phase finale du vol. Elle a également relevé dans

cette phase la mise en descente de l'avion alors que celui-ci se trouvait encore à environ dix degrés de l'axe d'approche prévu par la procédure.

La réglementation française et celle des grands pays aéronautiques prévoit que le niveau professionnel des équipages est déterminé et vérifié par l'exploitant lui-même (à l'issue des phases de qualification de type et d'adaptation en ligne, et lors des contrôles annuels réglementaires). Par ailleurs, l'efficacité de ce contrôle est en principe surveillée par la DGAC dans le cadre de l'exercice de sa tutelle technique.

23.212 - La commission a donc cherché à recueillir le jugement porté sur les pilotes du F-GGED par le système de formation, de maintien et de contrôle des compétences de la compagnie elle-même, puis elle a cherché des références externes d'évaluation de l'efficacité globale de ce système.

La commission a en conséquence examiné les modalités de l'exercice du contrôle exercé par la DGAC sur l'exploitation de l'A320 à Air Inter. La description de ces modalités figure au paragraphe 17.3 du présent rapport. Compte-tenu de la rareté des documents d'inspection ou de contrôle en vol existants pour ce qui

concerne cette compagnie, la commission n'a pas été en mesure de déterminer si la contre-performance de cet équipage était purement conjoncturelle, ou bien au contraire liée à une dérive au sein de la compagnie. Plus généralement, elle a relevé un certain nombre d'indices d'insuffisances ou de difficultés dans l'exercice de la tutelle de la DGAC sur la compagnie.

23.213 - En ce qui concerne le rôle tenu par le SFACT, elle a noté en particulier :

- que l'agrément des instructeurs chargés du contrôle de compétences prévu par la réglementation, était vécu par les responsables concernés d'Air Inter comme une pure formalité administrative dépourvue de fonction réelle de sécurité. Ceci a conduit au fait qu'aucun instructeur n'a été agréé pour ces contrôles par le SFACT entre 1988 et février 1992, alors que dans le même temps, aux termes de l'accord d'entreprise, leur nomination était prononcée au sein d'Air Inter à l'ancienneté;

- que les contrôles d'exploitation, effectués par des personnels ingénieurs et destinés à vérifier l'application et l'adéquation des procédures prévues par la compagnie, étaient vécus par les personnels navigants techniques d'Air Inter (et d'autres compagnies françaises) comme des contrôles de leur propre compétence, et refusés comme tels au nom de l'incompétence des personnels contrôleurs;

- que l'information du SFACT par Air Inter concernant les difficultés rencontrées dans l'exploitation de l'A320, en particulier dans le cadre du compte-rendu d'exploitation demandé par la réglementation au terme de la première année d'exploitation d'un avion de plus de quarante tonnes piloté à deux, était restée minimale;

23.214 - En ce qui concerne l'OCV, dont la fonction centrale concerne le niveau professionnel des équipages, la commission n'a pas conscience de difficulté d'acceptation analogue à celles évoquées ci-dessus. Elle a noté cependant deux facteurs susceptibles de limiter l'efficacité de la surveillance et des contrôles exercés par l'OCV sur une compagnie comme Air Inter.

Le premier concerne le statut même des pilotes en fonction à l'OCV. Leur double appartenance - à l'OCV et à une compagnie aérienne - garantit leur compétence mais rend plus délicat l'exercice d'une surveillance formalisée, forte et indépendante, vis à vis de leur propre compagnie.

Le second facteur qui limite les possibilités de surveillance effective de l'OCV concerne ses moyens, et en particulier ses effectifs, qui ne lui permettent pas de procéder à des sondages en vol sur le niveau professionnel des équipages de tous les exploitants à une fréquence adaptée.

Dans les faits, l'OCV n'a pratiqué aucun contrôle en ligne formel sur A320 à Air Inter entre la fin de 1988 et l'accident. Au terme de la phase de mise en ligne, la seule évaluation directe dont a disposé l'OCV sur le niveau professionnel des équipages d'Air Inter volant sur A320 venait de la pratique quotidienne de l'exploitation de l'A320 par un pilote-inspecteur de l'OCV par ailleurs commandant de bord A320 à Air Inter.

La commission a le sentiment que ce système de contrôle n'était pas en mesure de détecter une éventuelle dérive dans les pratiques de l'exploitation quotidienne en ce qui concerne les annonces faites par les équipages.

23.215 - Globalement la commission retire l'impression que les potentialités et la réalité de la surveillance opérationnelle exercée par la DGAC sur une compagnie de la taille d'Air Inter sont très limitées. Cette compagnie n'a jamais fait l'objet d'une inspection globale SFACT/OCV et la dernière inspection sectorielle ayant donné lieu à un rapport paraît remonter à 1984. Il semble à cet égard que l'encadrement et les personnels navigants de cette compagnie perçoivent le rôle du SFACT comme limité à la gestion des textes réglementaires, et manifestent certaines réticences à l'exercice par ce service de ses fonctions de contrôle de l'application de la réglementation. En outre, le contrôle en vol exercé par l'OCV semble dans la pratique principalement orienté vers les petites compagnies, et manquer de formalisme en ce qui concerne les grandes. Ainsi la commission d'enquête n'a pas eu connaissance de rapports écrits récents lui permettant de connaître l'appréciation portée par l'OCV sur la performance en ligne des équipages d'Air Inter éventuellement contrôlés.

23.216 - Bien qu'elle n'ait pas pu effectuer de comparaison avec d'autres pays, la commission a le sentiment que la faiblesse de l'autorité extérieure de contrôle est préjudiciable à la sécurité de fonctionnement d'un système aussi complexe qu'une grande compagnie aérienne, quelle que soit par ailleurs la qualité de ses personnels et la rigueur de son organisation.

La commission considère également qu'une formalisation rigoureuse des contrôles effectués est indispensable pour permettre aux dirigeants de l'entreprise de s'assurer le cas échéant que des mesures correctrices ont été prises.

23.22 - La réglementation concernant le GPWS

23.221 - La commission s'est interrogée sur les raisons qui ont pu conduire la DGAC à ne pas traduire dans les règles opérationnelles françaises la norme adoptée en 1978 par l'OACI dans son Annexe 6 concernant l'obligation d'emport d'un dispositif avertisseur de proximité de sol (GPWS) pour certains types d'avions. Parmi les facteurs susceptibles d'avoir initialement influencé cette décision, la commission a noté :

- les limites opérationnelles du dispositif mises en évidence par les expérimentations conduites par le CEV dès 1975 : taux élevé de fausses alarmes ou d'alarmes non justifiées par un risque réel, absence d'anticipation dans l'axe de la trajectoire conduisant dans certains cas à des alarmes trop tardives, problèmes de compatibilité des manoeuvres d'évitement suscitées par les alarmes avec le contrôle de la circulation aérienne;

- la position réservée exprimée par la communauté aéronautique française consultée par le SFACT en 1976 sur un projet de réglementation, position confirmée par Air Inter à la suite d'essais pratiques approfondis effectués en 1976 et 1977 sur Mercure et sur A300 sur le réseau de la compagnie;

- la réticence de principe de la DGAC à promouvoir une obligation d'emport pour un équipement protégé par le dépôt d'un brevet industriel;

23.222 - Le développement d'une réglementation opérationnelle européenne (JAR OPS) prévoyant l'obligation d'emport du GPWS a créé, à partir de 1990, le contexte d'une révision de cette position nationale. Cependant la DGAC n'a pas jugé nécessaire de procéder à un amendement spécifique de la réglementation française sur ce point avant de procéder à la révision d'ensemble imposée par l'alignement sur le texte commun européen. A la suite du traitement d'un incident et d'une intervention de l'OCV, le SFACT a seulement fait part à Air Inter en décembre 1991 de son étonnement devant le fait que, malgré les exigences prévues par les futures normes européennes, sa flotte ne soit toujours pas équipée de GPWS.

23.223 - La commission relève que l'influence excessive de la position exprimée par tel ou tel acteur dans le processus d'élaboration réglementaire pourrait conduire à une insuffisance réglementaire. En retour, pour les responsables de l'exploitation dans les compagnies, cette insuffisance pourrait se traduire par un manque d'éléments formels de décision nécessaires pour mettre en oeuvre une politique de sécurité compte tenu des contraintes existantes.

23.3 - La certification de l'avion

23.31- Certification du système de pilotage automatique.

Dans son exploration des scénarios possibles de l'accident, la commission n'a pas pu totalement exclure (voir § 21.24, hypothèse N°3) la possibilité d'une défaillance de la chaîne de pilotage automatique, soit au niveau du bouton poussoir de sélection de référence de trajectoire, soit au niveau de la transmission de la valeur de consigne au FMGC. Elle a considéré cette hypothèse comme très peu probable, mais a cependant conduit, au delà du cas de l'accident, une réflexion plus générale sur la certification des pilotes automatiques, compte tenu de l'importance du sujet.

23.311 - Les principes de certification

23.311.1 - Le document ACJ 25-1309 (Advisory Circular Joint) fournit les éléments nécessaires d'interprétation

et indique un moyen acceptable de démonstration de conformité aux exigences exposées par l'article correspondant du JAR 25 du règlement de certification européen des systèmes de pilotage automatique des avions de transport. Le concept central de cette interprétation est l'association entre la conséquence d'une panne et la probabilité d'occurrence maximum acceptable.

Ainsi, ce document définit les notions de conséquence catastrophique, critique, majeure, et mineure, et leur associe des fourchettes de probabilités d'occurrence, définies par des valeurs limites chiffrées et désignées respectivement extrêmement: improbable, extrêmement rare, rare, et probable. Ainsi les pannes à conséquence majeure doivent avoir une probabilité d'occurrence plus faible que 10^{-5} par heures de vol, les pannes à conséquence critique une probabilité plus faible que 10^{-7} par heure de vol, et les pannes à conséquence catastrophique 10^{-9} par heure de vol. Les mots "catastrophique" "critique", "probable" ou "improbable" prennent donc ici un sens différent et plus précis que dans le reste du rapport.

23.311.2 - Dans leur conception actuelle, les systèmes de pilotage automatique qui équipent les avions de transport ne détectent pas certains types de pannes telles qu'une éventuelle corruption d'une valeur de consigne sélectée par le pilote.

Le document de certification System Safety Assessment (SSA) du FMGS de l'A320 envisage en particulier des "pannes non détectées par le système avec effet limité". La notion d'effet limité concerne le facteur de charge résultant et l'assiette latérale de l'avion et se rapporte à la seule analyse des effets directs de la panne des systèmes avion.

En fait, les conséquences à plus long terme de ces pannes dépendent évidemment de la capacité de l'équipage à détecter et à remédier en temps utile à leurs effets, capacité qui repose sur la surveillance exercée par l'équipage. L'étude d'acceptabilité de telles pannes par le certificateur prend donc en compte notamment la possibilité de correction de leurs effets par l'équipage, en fonction en particulier de la phase de vol. Ceci est vérifié lors des essais en vol dans le cadre d'une évaluation globale du système avion/procédures /équipage qui considère: le fait que la panne soit décelable ou non, le temps de sa détection, le délai (forfaitaire) de réaction de l'équipage, et les effets de la procédure corrective effectuée (correctement) par l'équipage.

Au terme de cet essai, la panne est jugée décelable, ou non décelable. Si elle est jugée décelable, on évalue ses conséquences en tenant compte des possibilités d'action de l'équipage et des procédure prévues. Si elle jugée non décelable, on évalue ses conséquences sans réaction de l'équipage.

23.311.3 - A titre d'exemple, dans le cadre du processus de certification de l'A320, les principes rappelés ci-dessus ont été appliqués pour l'évaluation de la panne de FCU "corruption de la valeur de consigne VS ou FPA". Les effets d'une telle panne sont limités, au sens défini précédemment.

Au stade de l'évaluation en vol, cette panne a été jugée:

1) aisément décelable
2) aisément rattrapable.

On a donc supposé qu'il y avait reprise en main par l'équipage, et il a été montré alors que ce type de panne pouvait être classé comme ayant des conséquences mineures jusqu'à une hauteur d'occurrence de panne de 400 pieds, et qu'elle devait être classée comme ayant des conséquences "majeures" au-dessous de 400 pieds.

La probabilité prévisionnelle de ces pannes, telle qu'elle ressort de l'analyse de fiabilité des systèmes (10^{-5} par heure de vol) était donc compatible avec l'objectif de sécurité au-dessus de 400 pieds (classement "mineure"). Au-dessous de 400 pieds, cette probabilité n'est plus compatible avec la classification des conséquences ("majeure"). Le certificateur prend alors en compte le fait que le temps d'exposition à la panne au dessous de 400 pieds (environ une minute en approche) réduit le risque réel d'un ordre de grandeur par rapport à celui qui correspond à la période de référence normale (une heure), ce qui rend la probabilité de panne acceptable dans le cas d'effets "majeurs".

23.312 - Analyse de l'expérience en service

En ce qui concerne les cas identifiés de dysfonctionnement du FCU qui peuvent être regroupés sous la dénomination "corruption de la valeur de consigne de descente sélectée au FCU, non détectée par le système et provoquant une stabilisation de la vitesse verticale à une valeur différente de celle voulue par le pilote", l'expérience en service connue au terme de la présente enquête conduit à une fréquence de l'ordre de 10^{-6} par heure de vol (un cas de FCU défectueux identifié avec certitude, ayant donné lieu à trois occurrences de corruption, pour environ un million quatre cent mille heures de vol).

Cette fréquence constatée ne remet pas en cause la démonstration formelle de conformité. En effet celle-ci prend en compte une probabilité de défaillance non détectée du FCU (qui inclue moins d'une dizaine d'autres modes de défaillances) de 10^{-5} par heure de vol.

23.313 - Analyse des principes de certification

La commission s'est interrogée sur la validité du raisonnement sur le fond, c'est à dire sur la justification de la classification des conséquences de la panne d'un mode vertical du pilote automatique d'un avion quelconque dans certaines phases de vol, tout particulièrement en phases intermédiaire et finale d'une procédure d'approche dite classique.

On a vu que l'évaluation en vol conduisait à juger la panne détectable, ou non détectable. Cependant, en toute rigueur, la détection d'une panne par un équipage au bout d'un temps donné est une notion probabiliste au même titre que l'occurrence de la panne elle-même. La convertir en variable binaire (détectable/indétectable) revient à négliger, dans l'évaluation des conséquences, celles qui sont associées au choix complémentaire de celui qui a été retenu. Par exemple, décider la panne de FCU "aisément détectable" en approche finale revient à négliger, dans l'estimation de ses conséquences, toutes celles qui sont associées à sa non détection. De même, une fois la panne reconnue, sa correction convenable par l'équipage est également une notion probabiliste.

Or la conséquence d'une panne qui reste non reconnue, ou qui est mal traitée, est la perte probable de l'avion. Il conviendrait donc de s'assurer, dans le cadre de la certification, que le risque global correspondant à l'occurrence de la panne non reconnue, ou reconnue et mal traitée, est acceptable, au sens utilisé aujourd'hui dans les principes de certification, eu égard aux conséquences de ces événements.

La commission est consciente du fait qu'au stade actuel des connaissances, il ne pourrait s'agir d'une quantification véritable, analogue à celle qui permet (avec toutefois des approximations et de l'empirisme) d'évaluer les probabilités de défaillance technique.

La commission estime néanmoins nécessaire de compléter pour les avions futurs la procédure actuelle de certification des pilotes automatiques. Celle-ci est en effet réduite aujourd'hui à une évaluation en vol subjective, effectuée par des équipages d'essai, dans des conditions très particulières. La commission a noté par exemple que si le principe prévoit que ces équipages ne soient pas prévenus de la panne, la pratique d'un programme de vol d'essai conduit à une réalité notablement différente.

La commission pense que cette procédure devrait être complétée par une réflexion plus analytique utilisant les connaissances disponibles (qu'il est par ailleurs sûrement nécessaire de développer) concernant les comportements des opérateurs humains. Dans ce cadre, le certificateur serait amené à considérer les procédures de surveillance définies pour l'équipage, ainsi que la conception de l'interface avion/équipage en ce qui concerne les moyens de reconnaissance de panne fournis à l'équipage.

La commission remarque enfin que, s'agissant par hypothèse de pannes non auto-surveillées, donc non pourvues d'alarmes associées, les observations qu'elle formule au paragraphe 23.32 vis à vis de la certification de certains aspects ergonomiques des postes de pilotage, et concernant le pouvoir d'alerte de certaines informations, sont également applicables à la certification des pilotes automatiques. En effet, les moyens dont dispose l'équipage pour reconnaître une panne de pilote automatique dépourvue d'alarme sont les mêmes que ceux dont il dispose pour reconnaître ses propres erreurs de commande sur le système.

23.32 - La certification de l'ergonomie du poste de pilotage

23.321- Enseignements de l'accident et de l'expérience en service

23.321.1 - Lorsqu'elle a analysé le processus accidentel du point de vue de l'interface entre l'équipage et l'avion (voir en particulier § 22.3), la commission est parvenue aux conclusions suivantes :

(1) la conception du dispositif de commande et de contrôle des modes et des paramètres de pilotage automatique de la trajectoire dans le plan vertical est telle que :

- d'une part la probabilité de confusion dans le mode sélecté est plutôt élevée dans certaines situations;
- d'autre part la cohérence entre le mode sélecté et l'unité d'affichage de la valeur cible sélectée est un élément critique de sécurité;

(2) la présentation des paramètres de contrôle de la trajectoire dans le plan vertical convient à une information correcte d'un équipage convenablement conscient de sa trajectoire, mais n'offre pas les meilleures chances d'alerte à un équipage en erreur de représentation à cet égard.

23.321.2 - Lorsqu'elle a examiné les enseignements possibles du retour d'expérience, la commission a trouvé une cohérence entre les conclusions précédentes et les éléments suivants:

- l'existence d'un taux d'erreur élevé sur la sélection des modes verticaux du pilote automatique pendant la phase d'instruction initiale;
- la forte présomption d'un taux d'erreur résiduel significatif en ligne;
- l'existence de cas de confusion de mode en ligne restés indétectés par l'équipage jusqu'à alarme GPWS ou acquisition de références visuelles extérieures.

23.321.3 -La commission a rapproché, en fonction de ce qui précède, les différents jugements qu'elle a pu porter sur les composantes concernées de l'interface entre l'avion et l'équipage, et les articles pertinents du règlement de certification (voir § 118.12).

En particulier ces articles demandent:

- que la présentation des commandes soit conçue de manière à réduire au minimum les erreurs de l'équipage: il a semblé à la commission, à la lumière de son analyse et des enseignements de l'expérience opérationnelle disponible aujourd'hui, que la conception de cette commande n'était pas complètement conforme à l'esprit de ces articles;
- que la présentation des informations de vol et de navigation soit claire et non ambiguë, et que les moyens associés à la surveillance du pilote automatique soient conçus pour réduire au minimum les erreurs de l'équipage qui pourraient créer des dangers supplémentaires: il a semblé à la commission, que de ce point de vue, la présentation des paramètres de contrôle de la trajectoire dans le plan vertical répondait bien à l'objectif de certification en situation normale, mais probablement pas dans le cas d'un équipage en situation d'erreur de représentation.

23.322- Les principes et la méthode de certification

23.322.1 - Le paragraphe 118.1 rappelle les principes de certification applicables à la conception d'un poste de pilotage, et plus particulièrement aux commandes de pilotage automatique de la trajectoire et aux instruments de contrôle de cette trajectoire. Ce paragraphe rappelle en outre la manière dont la conformité de l'A320 aux exigences du règlement a été évaluée lors du processus de certification de l'avion.

23.322.2 - En examinant les extraits pertinents du règlement de certification, la commission a noté qu'il s'agissait essentiellement d'un règlement par objectifs. En analysant les documents interprétatifs (ACJ), la commission a noté que seul un très petit nombre d'aspects ergonomiques - tels que la forme des commandes du train d'atterrissage et des volets, ou le sens de déplacement des commandes, faisait l'objet d'une standardisation. En examinant les moyens acceptables de démonstration de conformité, elle n'a trouvé aucune indication de méthode d'évaluation particulière. La méthode de démonstration est donc traitée et acceptée dans le cadre de chaque certification.

23.322.3 - La commission a examiné la manière dont le processus de certification appliqué à l'A320 avait traduit en pratique les exigences réglementaires évoquées ci-dessus.

Elle a noté qu'un effort tout particulier a été fait pour évaluer la qualité de l'interface avion/équipage dans le cadre des vols consacrés à la démonstration de l'équipage minimal. Un relevé systématique des erreurs commises, et une analyse de ces erreurs a posteriori, ont notamment été effectués dans ce cadre.

Elle remarque cependant que l'essentiel de cet effort, consacré à la justification de l'équipage minimal à deux pilotes dans le contexte de climat social tendu déjà évoqué, porte sur l'évaluation des charges de travail et la gestion des situations anormales. La commission considère donc que, malgré une mise en oeuvre de méthodes d'évaluation largement surdimensionnée par rapport aux pratiques internationales en vigueur, le processus de certification de l'A320 n'a pas permis de détecter des particularités de conception qui se sont révélées à l'usage discutables par rapport à certains objectifs réglementaires (comme par exemple éviter la confusion).

La commission note également qu'au stade de la définition de l'ergonomie de l'A320, et compte-tenu du caractère particulièrement novateur de cet appareil dans ce domaine, des évaluations auraient pu être effectuées en associant, par l'intermédiaire de protocoles expérimentaux adaptés, des futurs utilisateurs de base, à l'occasion par exemple des études préalables de définition conduites en simulation pilotée. Ces évaluations auraient alors été disponibles avec un préavis suffisant, autorisant encore de véritables choix dans des conditions acceptables pour les calendriers industriels du programme, ce qui est beaucoup plus difficile au stade de la certification.

Elle note enfin que les méthodes employées au stade de la certification privilégient les évaluations de type subjectif par une population restreinte de pilotes du constructeur ou de pilotes investis de fonctions officielles.

23.322.4 - La commission s'est en conséquence interrogée sur l'aptitude du règlement, des principes et des procédures de certification en vigueur à fournir les garanties nécessaires dans ce domaine, notamment dans le cas de conceptions particulièrement novatrices.

Dans le cadre de cette réflexion, la commission a relevé certains aspects des principes et du processus de certification en vigueur, qui lui paraissent constituer à cet égard des points de faiblesse:

- la prise en compte des erreurs de l'équipage se fait à travers des objectifs très généraux (cf articles du règlement déjà cités) sans discrimination des erreurs en fonction de leurs probabilités d'occurrence et des conséquences associées; les évaluations des moyens de surveillance associés, qui sont souvent les mêmes que ceux utilisés pour surveiller le bon fonctionnement des automatismes de pilotage, sont faites sous des hypothèses de comportements standards et de strict respect des procédures définies. Il a semblé à la commission que ces hypothèses ne correspondent pas nécessairement à la réalité du travail en ligne;

- Les évaluations de l'ergonomie conduites dans le cadre de la certification font un appel quasi exclusif au jugement brut de pilotes d'essai et de pilotes officiels. Or il semble à la commission que la nouvelle génération de cockpits diminue notablement le pouvoir prédicteur de cette méthode, même complétée par l'avis de pilotes désignés par les compagnies de lancement, particulièrement dans le cas d'avions globalement très novateurs. En effet ces interfaces nouvelles produisent des modes d'erreurs nouveaux et particulièrement évolutifs au cours des phases d'apprentissage et d'appropriation par les pilotes. Or l'expérience individuelle sur le nouveau type des pilotes sollicités ne dépasse jamais ces phases initiales. De plus ils disposent de connaissances plus complètes sur l'avion, ils travaillent dans le cadre

d'une mission différente de celle des futurs utilisateurs quotidiens. Les modes cognitifs qu'ils mettent en oeuvre, et les types d'erreur qu'ils sont susceptibles de commettre, sont en conséquence partiellement différents de ceux des pilotes de ligne en situation de routine.

- L'acte administratif de certification prend place bien après le processus de conception, à un moment où des choix industriels très lourds, et donc très difficiles à remettre en cause par le certificateur, sont déjà faits. Or même si l'avis du certificateur est sollicité dès le début de la phase de conception, il ne dispose pas à ce stade de critères de refus en matière d'ergonomie. Les faiblesses notées plus haut concernant le pouvoir prédicteur des méthodes actuelles sont en effet aggravées dans ce cas car l'horizon de prédiction est plus lointain, et on ne dispose que de maquettes ou de simulations partielles. Le caractère subjectif des jugements individuels bruts, quelle que soit leur compétence reconnue, les rend donc encore plus fragiles en tant que critères de rejet.

En conséquence la commission est parvenue à la conclusion qu'un effort devrait être consenti pour réadapter les moyens du processus de certification à ses objectifs dans le domaine de l'ergonomie, en redéfinissant de façon plus précise les objectifs réglementaires et les protocoles d'évaluation associés.

23.33 - Homologation du système DME de bord

23.331 - Analyse de l'expérience en service et conclusions

Après avoir analysé l'implication possible du système DME du F-GGED dans le mécanisme de l'accident, la commission a conclu qu'un éventuel dysfonctionnement de ce système ne pouvait être invoqué ni comme générateur possible, ni comme facteur contributif dans l'accident.

Cependant, à l'occasion des investigations techniques conduites pour analyser les dysfonctionnements possibles du DME Collins-700, la commission a constaté l'existence de multiples modes de défaillance sur cet équipement.

A l'occasion des expertises qui lui ont été demandées par la commission pour rechercher si un défaut "sleeping mode" avait pu affecter le DME du F-GGED, il a été constaté des incohérences et des désordres dans les données enregistrées dans la mémoire non volatile par le logiciel BITE. Ces désordres entraînent des débordements de tableaux de valeurs, qui perturbent le fonctionnement du logiciel opérationnel de l'équipement (voir § 117.325).

La commission s'est en conséquence interrogée sur la conformité du DME Collins-700 au règlement technique de référence, et sur le processus d'homologation suivi par cet équipement.

23.332 - Homologation du DME Collins-700

23.332.1- Exigences techniques applicables

Les points examinés pour l'homologation d'un équipement radio tel que le DME concernent le respect des exigences en matière de conditions techniques applicables (CA), d'environnement, et enfin de logiciel. En ce qui concerne le logiciel, ces exigences sont décrites dans le document RTCA DO 178 A (Radio Technical Commission for Aeronautics) et son homologue européen le document EUROCAE ED 12 A.

Ce règlement prévoit pour les logiciels des niveaux de qualité qui dépendent du caractère plus ou moins critique de leur fonction. Le niveau le plus bas envisagé est le niveau "non essentiel". La principale exigence qui est alors formulée est de ne pas perturber le fonctionnement des autres logiciels.

Les constatations techniques rapportées au paragraphe précédent indiquent que la condition de plus bas niveau (logiciel "non essentiel") du document RTCA DO 178A n'était pas satisfaite par le logiciel BITE du DME Collins-700.

Ces normes n'étaient pas formellement en vigueur au moment de l'homologation du DME Collins-700. Cependant, c'est précisément ce nouvel équipement et sa technique numérique qui avaient servi de base au

développement de la nouvelle norme. Celle-ci était dans un stade suffisant de maturité pour être prise en considération pour l'élaboration et l'homologation des logiciels du DME Collins-700, et il n'existait pas d'autre norme pour les logiciels.

Il est probable que les opérations de vérification des logiciels décrites dans le document RTCA DO 178A , et qui consistent notamment en l'exécution de processus d'intégration et de validation, auraient permis de détecter avant la mise en service de l'équipement l'anomalie qui est à l'origine du "sleeping mode".

23.332.2- Processus d'homologation appliqué

S'agissant d'un équipement construit aux Etats-Unis, l'autorité primaire pour l'homologation était la FAA. En France, le dossier d'homologation a été instruit par le STNA (Service Technique de la Navigation Aérienne).

Le STNA a effectué des vérifications de conformité en ce qui concerne les CTA et l'environnement mais n'a pas procédé à une analyse de conformité à la norme de qualification des logiciels. Sur ce point, la DGAC a donc accordé l'homologation en 1982 sur la base du travail accompli par la FAA.

Le DME Collins-700 a subi une modification avant son intégration sur A320 et autres avions de même génération. Il s'agissait essentiellement de l'adjonction de protocoles d'interfaces avec le système CFDS de l'A320 et du remplacement du MFM (Maintenance Fault Memory) par un BITE. Cette modification, répertoriée 20558, a été classée "mineure" et a été approuvée en 1988.

S'agissant d'un équipement déjà connu et homologué par un TSO (Technical Standard Order) au moment de son intégration sur A320, le DME Collins 700 n'a pas fait l'objet à cette occasion d'une analyse de sécurité spécifique concernant son fonctionnement propre. Par contre, cet équipement constituant l'un des capteurs périphériques du FMGC, ses modes de panne, leurs probabilités d'occurrence, et leurs moyens de détection ont été pris en compte dans l'analyse de sécurité du FMGC.

23.4 - Le fonctionnement du système de retour d'expérience

23.41 - Du fait notamment de la difficulté à établir le scénario de cet accident, des recherches à la fois extensives et intensives ont été effectuées dans le cadre de cette enquête pour retrouver d'éventuels incidents survenus dans des circonstances comparables, et ayant conduit ou étant susceptibles de conduire à un taux de descente anormalement élevé à l'insu de l'équipage.Ces recherches ont amené la commission à questionner les organismes d'enquêtes ou de recueil d'incidents des principaux pays utilisateurs de l'A320, et à examiner le témoignage de nombreux pilotes français de cet avion.

A l'occasion de ces recherches, dont le résultat est exposé pour l'essentiel au paragraphe 1.17.6, il est apparu:

- qu'au moins deux incidents très proches de l'un des scénarios retenus pour l'accident (confusion de mode VS FPA) s'étaient produits dans le passé, dans différents pays, sans que les autorités de certification, ni le constructeur, ni les autres exploitants en aient eu connaissance;

- que ces événements étaient souvent connus de tel ou tel système de collecte d'information, sans que leur gravité potentielle ait été perçue, et le plus souvent sans que la précision des informations disponibles soit suffisante pour fonder une analyse approfondie et des actions éventuelles;

- que des événements de nature analogue se produisent en ligne sur différents types d'avion sans que les équipages perçoivent la nécessité d'en faire un compte-rendu à leur compagnie ou aux autorités de l'aviation civile;

23.42 - Il apparaît en conséquence que parmi les utilisateurs d'A320 il existait des informations diffuses concernant la fréquence des confusions dans la gestion des modes verticaux de pilotage automatique, et les risques associés. Un exploitant au moins avait proscrit à titre préventif l'utilisation du mode FPA à ses équipages, car il ne souhaitait pas effectuer l'investissement de formation supplémentaire qu'il jugeait nécessaire. Mais jamais ces informations n'ont été formulées et centralisées à un échelon convenable, susceptible de faire la synthèse des difficultés rencontrées et de déclencher des mesures correctrices.

23.43 - De toutes les sources d'informations sollicitées par la commission (bases de données nationales ou internationales alimentées par les systèmes de rapports obligatoires, systèmes de recueil confidentiels de comptes-rendus volontaires, bases de données de constructeurs ou d'équipementiers), une seule s'est avérée capable de fournir de façon fiable des informations suffisamment détaillées, complètes, et précises pour permettre une analyse approfondie des incidents de cette nature: il s'agit du système d'analyse systématique des paramètres de vol enregistrés mis en oeuvre par une compagnie, système dans le cadre duquel toute anomalie importante détectée par le système automatique conduit à une analyse opérationnelle approfondie de l'événement, avec si nécessaire la contribution de l'équipage concerné. Cependant le souci de protéger le consensus éminemment délicat obtenu entre les partenaires sociaux au sein de cette compagnie a conduit à ne pas diffuser l'information recueillie vers l'extérieur de la compagnie. Le potentiel de sécurité considérable de tels dispositifs est donc à ce jour très incomplètement exploité.

23.44 - L'organisation générale et les caractéristiques du système français de retour d'expérience (cf § 118.6) constituent un handicap manifeste à un fonctionnement efficace. La commission a relevé en particulier les aspects suivants:

- le dispositif réglementaire est constitué de stratifications successives de textes de statuts très inégaux n'ayant subi aucune refonte globale depuis les années cinquante, ce qui conduit à un ensemble hétérogène, complexe et difficilement compréhensible par les parties concernées;

- le dispositif réglementaire n'établit aucune obligation explicite, ni pour le commandant de bord ni pour l'exploitant, d'informer le SFACT, qui est le service chargé de la tutelle technique sur les exploitants, des incidents survenus en exploitation. Il est prévu que toute notification d'incident soit adressée au Bureau Enquêtes Accidents, sans discrimination sur la nature et la gravité de l'incident, et cela n'est pas adapté à la réalité des moyens de traitement de l'information disponibles;

- la position des références concernant les incidents dans le découpage général des textes suggère que leur objectif initial n'est pas d'organiser le retour d'expérience à des fins d'analyse de sécurité, mais d'établir des obligations de notification des événements anormaux dans le but de permettre les fonctions de recherche et sauvetage d'une part, et les actions disciplinaires d'autre part. Cette confusion entre action disciplinaire et retour d'expérience est notamment apparu à la commission comme susceptible de constituer un frein considérable à toute initiative de compte-rendu volontaire par les équipages d'événements tels que des erreurs graves mais corrigées avant toute conséquence perceptible de l'extérieur;

- a contrario, le dispositif ne comporte aucune procédure de compte-rendu confidentiel garantissant à l'auteur d'une initiative de compte-rendu volontaire d'un événement par ailleurs transparent qu'il ne sera pas sanctionné ou déconsidéré par suite de son initiative;

23.45 - Les autorités françaises ont voulu mettre l'accent ces dernières années sur la promotion de systèmes de collecte organisés, d'une part par l'industriel auprès de ces clients, d'autre part au sein de chaque compagnie utilisatrice. C'est ainsi que dans son annexe relative aux conditions associées à l'autorisation d'exploiter un avion de plus de quarante tonnes en équipage sans mécanicien navigant, l'arrêté du 5 novembre 1987 (chapitre 12) établit une obligation d'analyse systématique des paramètres de vol enregistrés. Cependant cette obligation ne comporte pas celle de tenir la DGAC informée des incidents détectés, sauf au terme de la première année d'exploitation, et de façon synthétique uniquement. Elle ne comporte pas non plus l'obligation d'une investigation opérationnelle approfondie des circonstances et des mécanismes des incidents les plus significatifs.

23.46 - En résumé, la commission d'enquête considère que l'aéronautique est un des rares domaines d'activité qui a su se doter d'un système de retour d'expérience. Celui-ci donne des résultats probants lorsqu'il s'agit de traiter des problèmes techniques. Par contre, la commission s'est rendu compte des limites évidentes de ce système dans le domaine de opérationnel. Dans ce domaine, l'information n'est que très rarement disponible, et, même quand elle l'est, elle n'est que rarement analysée avec la participation de tous les acteurs concernés. De plus, les résultats de ces analyses ne sont, en général pas communiqués au constructeur et à l'administration.

CHAPITRE 2.4 - SURVIE, RECHERCHE, ET SAUVETAGE

24.1 - Survie à l'impact et à l'accident

24.11 - Dans cette partie, la commission d'enquête analyse les conditions de préparation de la cabine avant l'atterrissage, les causes de la mort des victimes de l'accident et l'état des sièges après l'impact.

Les caractéristiques de cet accident, et en particulier l'énergie d'impact, ne correspondent pas à une situation où on s'attend normalement à des survivants. Plus précisément, les accélérations subies par la cellule de l'avion et son niveau de fragmentation sont tels que les facteurs de survie individuelle ne sont accessibles à aucune modélisation connue. Dès lors, les leçons qu'on peut tirer d'un tel accident en matière de sécurité passive sont assez limitées. La commission a cependant entrepris une réflexion sur le sujet, tout en restant fort consciente des limites de l'exercice.

24.12 - Les consignes de préparation de la cabine avant l'atterrissage ont été appliquées et tous les passagers étaient vraisemblablement attachés. Toutefois un membre du personnel navigant commercial n'était pas assis et attaché mais très probablement encore debout en cabine au moment de l'impact. Le poste de sécurité de ce membre d'équipage était situé à l'arrière de l'appareil dans la partie où il y a eu des survivants. La commission a analysé la séquence des opérations à effectuer par le personnel navigant commercial avant l'atterrissage vis à vis du moment où ces opérations devraient être débutées afin que le PNC puisse en toutes circonstances être assis et attaché dans la phase finale du vol. Les circonstances de cet accident ne permettent pas de tirer de conclusions sur ce point mais un réexamen de ces procédures pourrait être utile de façon à s'assurer que la chronologie de ces opérations est bien telle que cette condition puisse être satisfaite.

24.13 - La commission d'enquête constate que, en dépit de la violence du choc frontal auquel a été soumis l'avion, neuf personnes ont survécu à cet accident. L'examen de quelques sièges n'a pas permis d'évaluer précisément les facteurs de charge auxquels ils ont été soumis et n'a pas fourni d'éléments significatifs supplémentaires pour expliquer le nombre et la répartition des survivants.

Toutes les victimes ont subi des polytraumatismes, pour certains très étendus. Certains types de lésions présentent toutefois une fréquence particulièrement élevée et il a paru intéressant de les relever pour pouvoir discuter de leur rapport possible avec certaines caractéristiques des sièges ou de leur disposition en cabine. Ce sont les lésions au niveau de la tête, les lésions au niveau de la ceinture pelvienne et les lésions de l'extrémité des membres inférieurs.

La fréquence et la nature des lésions au niveau de la tête orientent la réflexion vers un rôle possible de la structure du dossier du siège placé devant chaque passager. Les lésions pelviennes orientent la réflexion vers un rôle possible des ceintures de sécurité qui, pour autant que l'on puisse le savoir, n'ont pas été détruites. Enfin les lésions des membres inférieurs ont pu être dues pour partie aux attaches des sièges à la structure de l'avion.

La fréquence élevée de certaines lésions subies par les victimes a amené la commission d'enquête à examiner les essais et vérifications effectués par le constructeur ou l'administration pour s'assurer de la conformité de cet avion, dans la configuration choisie par Air Inter, avec les exigences réglementaires en matière de sièges et de ceinture de sécurité.

Les exigences de certification concernant le sièges passagers et les ceintures sont fixées par les paragraphes JAR 25-785(a), JAR 25-785(c) et JAR 25-785 (i) du règlement conjoint de certification européen. Dans le cadre de la certification de type, les sièges passagers et les ceintures correspondantes ne sont pas identifiés de façon individuelle car ces équipements sont, d'une façon générale, choisis par la compagnie utilisatrice. Cependant les exigences qui leur sont applicables sont contenues dans un document, approuvé par les autorités de certification, intitulé "sièges passagers; spécification cadre". Pour ce qui est de la certification individuelle de chaque avion, l'avionneur présente pour approbation aux autorités compétentes un dossier dans lequel la conformité aux exigences de la certification de type est démontrée pour les équipements spécifiques à cet avion.

Le dossier remis par Airbus Industrie pour approbation de la cabine passagers de l'avion F-GGED (dossier ref MBBTLQ 21/135/03/88 Edition 4) se réfère pour les sièges passagers à la spécification approuvée lors de la

certification de type (Ref 00D2520004/C01). La conformité de l'avion aux exigences de certification a été confirmée par les rapports d'inspection TLQ 21-562/12/88 et 10D021K4590S12. En ce qui concerne les ceintures de sécurité, elles ont été reconnues conformes au TSO C22F délivré par la FAA.

La commission d'enquête a constaté que les exigences réglementaires avaient été satisfaites, mais elle a relevé que le règlement de certification applicable dans le cas de l'A320 (JAR 25 change 10) ne comportait que des essais statiques en ce qui concerne les sièges. Depuis lors, de nouvelles conditions techniques ont été imposées en Europe et aux Etats-Unis pour les sièges passagers, pour renforcer la protection des passagers dans les cas d'atterrissage d'urgence (JAR 25 change 13 publié le 05/1089). Les facteurs de charge statiques ont été augmentés et une exigence d'essais dynamiques pour les sièges a été introduite.

Cependant, la commission a été informée au cours de l'enquête que le type de siège qui équipait le F-GGED avait été soumis aux test HIC (Head Injury Criteria) à une date postérieure à celle de l'accident, et avait passé ces essais avec succès.

24.2 - Organisation des recherches

Note: La commission d'enquête a travaillé sur ce point à partir des comptes rendus établis par le Centre d'Opérations de la Zone Nord-Est (compte rendu global d'opération SAR) et par la préfecture du BAS-Rhin (compte rendu de réunion du 14 février 1992).

24.21 - La commission d'enquête a constaté qu'il avait fallu plus de quatre heures pour retrouver l'épave à partir du moment où l'alerte avait été déclenchée. Ce constat remet en cause bien des idées communément admises sur la recherche d'un avion de transport lourd en métropole. Il s'explique en partie par les caractéristiques du site de l'accident (forêt montagneuses enneigée), par les conditions de son occurrence (nuit d'hiver) et par les difficultés rencontrées pendant les opérations de recherche (conditions climatiques et absence d'émission de la radio-balise de détresse).

24.22 - Compte tenu des conditions d'environnement (nuit, crêtes accrochées, givrage dans la couche, difficulté d'emploi des équipements de vision spéciaux), il a fallu essentiellement compter sur les moyens humains pour localiser l'épave par le biais d'opérations de ratissage. La commission d'enquête a donc analysé la façon dont avaient été conduites ces opérations de recherche terrestres et les rôles respectifs qu'y avaient joué le Centre de coordination de sauvetage (RCC) de Drachenbronn et le dispositif SATER dirigé par le Préfet du Bas-Rhin dans le cadre des dispositions réglementaires prévues (voir § 116.21).

24.23 - Dans le cas des accidents aériens, le RCC assure la conduite générale des recherches. Il dispose pour ce faire de moyens adéquats et de personnels qualifiés capable d'exploiter les renseignements et les informations qui lui parviennent. Pour cet accident, les premiers renseignements ont été transmis au RCC par le centre de contrôle d'approche de Strasbourg à 18h31 avec le déclenchement de l'alerte. Le contrôleur d'approche ayant indiqué que la perte de contact radar avait eu lieu entre 8 et 9

NM dans le radial 230° du terrain de Strasbourg, le RCC a immédiatement (18H34) déclenché auprès de la préfecture la mesure SATER 2 dans la région du Mont Sainte-Odile.

C'est à partir de ces premiers éléments que le RCC a déclenché à 19H09 la mesure SATER 3 en définissant un premier secteur de recherche entre le Mont Sainte-Odile et Andlau, qu'il a ensuite étendu à 19h30 à un quadrilatère Mont Sainte-Odile/Barr/Andlau/Le Hohwald. La commission d'enquête considère que la définition de cette première zone de recherche était cohérente avec les premiers éléments connus du RCC (position de l'avion au nord de l'axe d'approche en fin de guidage, limites de précision du radar, trace au sol de l'axe de piste, repères de la procédure). La commission note toutefois qu'elle présentait une surface importante (21 km^2) nécessitant la mise en oeuvre d'effectifs importants sur le terrain.

La commission constate par ailleurs qu'il a fallu respectivement 1h30 et 3h30 pour que les enregistrements radar en provenance de Drachenbronn et de Reims soient communiqués au RCC et pour que celui-ci puisse resserrer la zone des recherches terrestres pour le PC fixe. Ce temps lui paraît excessif compte tenu des moyens de traitement de l'information existant dans ces centres (poursuite radar des vols, enregistrement des données sur les vols, programmes de revisualisation). Enfin, certains centres étrangers auraient également pu être sollicités à cette fin (Karhsruhe par exemple).

La commission relève également que le premier secteur de recherche, dont la définition s'est révélée appropriée, (entre le mont Sainte-Odile et Andlo), a été très vite étendu à une zone plus vaste avant d'être progressivement recentré sur cette première définition. Elle s'est donc interrogée sur les causes de ce phénomène de dilution sans pouvoir pour autant y apporter de réponse précise. Le souci d'identification de la zone de recherche par des repères géographiques facilement identifiables par les moyens terrestres peut constituer un élément de réponse à cette question.

La commission note enfin que, malgré la mise en place par la base aérienne de Strasbourg d'un officier de l'armée de l'air au PC fixe de la préfecture, l'échange des informations entre le RCC et le PC fixe prévu au paragraphe 5.1.3 du protocole SATER Transports-Intérieur- Défense du 08 septembre 1987 parait n'avoir pas bien fonctionné, notamment dans le sens PC fixe vers RCC (le RCC n'a en effet été informé que de deux des témoignages qui avaient été reçus du terrain). Ceci peut provenir de difficultés rencontrées au PC fixe pour faire la synthèse des informations reçues. La commission a remarqué à cette égard que ces difficultés de coordination et de remontée des renseignements, en provenance des unités engagées sur le terrain notamment vers les PC fixes et organismes SAR étaient déjà apparues fréquemment dans les opérations SATER.

En fonction des informations dont il disposait,il semble que le rôle du RCC pour préciser le polygone des recherches terrestres se soit limité à quelques indications transmises au PC fixe: à 20H15 confirmation du premier polygone et demande de ratissage dans la région du Buchenberg, à 21h25 demande d'envoi de moyens terrestres entre le château de Landsberg et la cote 826 (La Bloss), à 22h04 communication de la dernière position connue par le centre de Reims et indication de la Bloss comme lieu possible de l'accident.

24.24 - La conduite des opérations de recherche terrestres a donc essentiellement été assurée par les représentants du Préfet du Bas-Rhin. Un PC fixe a été activé immédiatement à la préfecture. Le PC opérationnel a été installé à Barr (20h45). Le rassemblement des moyens de secours pompiers SAMU s'est opéré à partir de 19h20 au centre de secours d'Obernai désigné comme le point de première destination. La direction des recherches y a été assurée par le commandant du groupement de gendarmerie départementale rejoint par le sous-préfet de Sélestat. La commission d'enquête n'a pas analysé en détail la totalité des opérations de recherche qui avaient été menées et n'est donc pas en mesure de formuler à cet égard une appréciation globale suffisamment fondée. Deux points lui paraissent toutefois devoir être relevés.

Tout d'abord l'ampleur des recherches terrestres à lancer notamment du fait de l'importance de la première zone de recherche (21 KM^2) et des limitations imposées aux moyens aériens, a immédiatement dépassé tous les moyens de la gendarmerie départementale. Des renforts ont été demandés à partir de 19h30 à la Gendarmerie Mobile et à l'Armée de Terre. Compte tenu des délais de rappel et de route, ils ont été disponibles sur zone, respectivement à 21h30 et 22h. Ce n'est qu'à partir de l'arrivée de ces renforts que les opérations de ratissage intensif ont pu commencer. On peut donc se demander s'il n'aurait pas été préférable, dans les circonstances de cet accident, d'alerter et de mobiliser des effectifs importants dès le déclenchement de la mesure SATER/2, de façon à permettre une mise en oeuvre plus rapide et plus complète de la mesure SATER/3 dès son déclenchement.

D'autre part, si un grand nombre d'opérations de recherche ont été lancées au cours des deux premières heures par les responsables opérationnels, en fonction des éléments disponibles ou d'informations diverses, le dispositif de recherche dirigé à partir du PC fixe de la préfecture paraît n'avoir atteint sa pleine efficacité qu'à partir de l'installation du PC opérationnel à Barr vers 20h45 et de son ralliement par les responsables des différents services. Il est donc possible que, dans un premier temps, les décisions n'aient pas intégré toutes les informations disponibles du moment. Ceci met en évidence l'importance de la rapidité de la mise en place du PC opérationnel et de son armement avec tous les responsables concernés, l'importance aussi du choix de son implantation et des moyens de liaison dont il est doté pour communiquer avec les équipes sur le terrain et avec les autres organismes.

24.25 - En résumé, la commission d'enquête constate que les phases d'urgence ont été déclenchées dans les délais prescrits et que les opérations de recherche ont été conduites conformément aux textes en vigueur. Elle a toutefois relevé le délai important de restitution des trajectoires radar de l'avion, le délai de montée en puissance du dispositif terrestre vis à vis de l'importance de la zone de recherche, les difficultés rencontrées dans l'échange des informations entre RCC et préfecture, notamment dans le sens PC fixe vers RCC.

24.3 - Analyse du non-fonctionnement de la radio-balise de détresse (RBDA)

24.31 - La radiobalise de détresse, détruite à l'impact, n'a pas fonctionné. Le type de balise installé dans le F-GGED répondait aux normes et recommandations de l'OACI et à la réglementation française en vigueur le jour de l'accident. Cependant, l'essai opérationnel effectué le 9 avril 1992 ne permet pas d'affirmer que, si la balise avait fonctionné, l'épave aurait été retrouvée beaucoup plus rapidement (voir § 118.33).

24.32 - La commission d'enquête constate toutefois que les réglementations françaises et internationales en matière de RBDA (décrites au § 118.3) étaient essentiellement orientées vers la recherche des avions légers. Dans ces types d'accident, les organismes responsables constataient en effet que les recherches étaient extrêmement longues et coûteuses. A l'inverse, à l'exception des amerrissages ou de certains atterrissages en zone désertique, il était communément admis qu'en cas d'accident de gros avion de transport, son épave en était découverte très rapidement, compte tenu de la précision du suivi des trajectoires de ces avions par les services de contrôle. Ce sont ces considérations qui expliquent pourquoi les normes d'homologation de ces équipements ont été fortement influencées par un objectif d'accessibilité de prix pour l'aviation générale. Ceci explique aussi pourquoi, dans le cadre d'une obligation d'emport généralisée, l'administration française a estimé possible de laisser aux transporteurs de grandes facilités sur les conditions d'installation et de fonctionnement des RBDA montées à bord de leurs avions.

24.33 - La durée des opérations de recherches du F-GGED remet sérieusement en question cette idée admise tant par les transporteurs que par l'Administration. C'est la raison pour laquelle la commission d'enquête a estimé nécessaire, dès la remise de son rapport préliminaire, de recommander que soient revues les conditions réglementaires d'homologation et d'installation à bord des aéronefs des radiobalises de détresse à déclenchement automatique (RBDA), afin d'assurer une plus grande probabilité de bon fonctionnement après accident. Cette recommandation retenue par le Ministre a conduit à une modification de l'arrêté du 5 novembre 1987 relatif aux conditions d'utilisation des avions exploités par une entreprise de transport aérien (arrêté du 12 janvier 1993). Cette modification institue des normes d'homologation et des conditions d'installation propres à diminuer les risques d'endommagement et de non fonctionnement en cas d'accident. La commission relève toutefois qu'il conviendra également de fixer et de contrôler l'application de normes sur le rayonnement de ces installations (puissance rayonnée notamment).

24.4 - Organisation des secours

24.41 - Conformément aux pratiques internationales en matière d'enquêtes sur les accidents d'avions (annexe 13 à la convention relative à l'aviation civile internationale), la commission n'a analysé les opérations de secours que de façon succincte. Elle l'a fait à partir des rapports d'analyse établis localement sous l'autorité du Préfet, du rapport de l'Institut de médecine légale de Strasbourg et de divers témoignages. Elle a estimé utile de proposer quelques réflexions sur l'organisation des secours d'une part, sur la technique de traitement des polytraumatismes d'autre part.

24.42 - Le choix d'Obernai comme lieu d'installation du PC médical et d'une partie des équipes de secours en attente a reposé sur des considérations essentiellement dictées par les conditions météorologiques, les distances à franchir de la ville d'Obernai aux divers points du massif où se déroulaient les recherches étant en tout état de cause limités. Pour les mêmes raisons, il a été jugé préférable de privilégier la cohérence de la colonne de secours sans la morceler. Sur les routes sinueuses et verglacées menant au mont Sainte-Odile, il était en effet très difficile de faire demi-tour et le rappel immédiat d'un éventuel élément avancé aurait donc pu être très difficile.

Il a tout d'abord semblé à la commission que ce choix pouvait avoir retardé l'heure d'arrivée sur le site de l'essentiel des moyens des secours, compte-tenu de la gêne créée par l'encombrement des axes routiers et par l'état des routes (neige et verglas). De plus, dans les conditions du moment, la coordination entre les différents acteurs (directeur des secours et gendarmerie installés à Barr et direction médicale stationnée à Obernai) en a peut-être été rendue plus difficile.

D'autre part, en ce qui concerne l'option de ne pas faire partir d'élément avancé dès que la zone des recherches a été précisée, la commission a noté que les équipes les mieux rodées aux interventions sur polytraumatismes graves sont arrivées trop tard pour pouvoir intervenir sur le site et sont restées sur la route départementale comme moyen d'accueil des blessés. Les interventions médicales sur le site paraissent n'avoir

été le fait que de deux médecins militaires du 153e régiment de Mutzig et d'un médecin militaire de la Base aérienne 124 de Strasbourg-Entzheim, tous trois indépendants du dispositif médical et de secours. En outre, il semblerait que deux médecins civils au moins, dont un non-identifié, soient également intervenus sur le site. Ce sont les médecins présents sur le site qui ont examiné et autorisé le transport d'une partie des blessés en fonction de leur état, des moyens dont ils disposaient et des conditions climatiques.

24.43 - La commission note enfin que deux victimes ultérieurement décédées étaient encore vivantes au moment de l'arrivée des secours. Selon le rapport de l'Institut médico-légal, elles sont mortes l'une d'un état de choc aggravé par des troubles ventilatoires, l'autre d'un polytraumatisme crânio-facial, abdominal et de membres inférieurs. Les données autopsiques permettent difficilement de juger en toute rigueur des chances de survie d'une victime décédée et de faire la part des différents facteurs ayant conduit à l'issue fatale. Enfin l'un des blessés survivants a été évacué dans des conditions qui auraient rendu ses chances de survie très aléatoires en cas de lésion interne grave.

La commission note cependant que les opérations de secours et de sauvetage ont été effectuées conformément aux règles de l'art en matière de secourisme, la réserve à effectuer étant que les données actuelles de l'auxyologie (médecine d'urgence et de catastrophe) prescrivent la réanimation, le déchocage et le conditionnement sur place, quelles que soient les conditions d'environnement, comme la meilleure stratégie de soins aux victimes d'accident.

24.44 - La commission considère donc qu'il conviendra de prendre en compte ces données nouvelles de la science pour les inclure dans l'instruction des personnels appelés à intervenir sur ce type d'accident. Un soin particulier devra être accordé à l'instruction de ces personnels car l'attente sur le site en présence d'un blessé grave est particulièrement pénible pour le secouriste, dont l'attitude naturelle est l'intervention et l'évacuation des blessés hors de conditions d'ambiance jugées défavorables.

24.5 - Organisation de la communication

De nombreuses personnes engagées dans les opérations de recherche et de secours ont fait état des difficultés de circulation auxquelles elles ont été confrontés sur les routes donnant accès au Mont Sainte-Odile du fait de la présence de nombreux véhicules et des conditions climatiques.

Ces mouvements de véhicules ont été provoqués par les annonces de la catastrophe par les médias, par les appels aux municipalités ou associations lancés par les responsables des recherches, peut-être aussi par l'écoute des communications échangées par les acteurs du dispositif de recherche et de secours. La commission d'enquête note qu'il y a probablement une réflexion à conduire dans ce domaine de la communication et de la mobilisation des citoyens, pour prévoir les procédures et moyens permettant d'utiliser les compétences utiles et d'informer le public, tout en contrôlant rigoureusement les voies d'accès au site de l'accident.

CHAPITRE 2.5 - ENREGISTREURS.

25.1 - Les enregistreurs réglementaires de bord (DFDR et CVR).

25.11 - Résistance à l'accident

25.111 - Les enregistreurs réglementaires DFDR et CVR ont souffert du feu. La bande magnétique du CVR a pu être exploitée. Par contre, celle du DFDR avait été totalement détruite.

Ces enregistreurs embarqués sont les seuls dédiés aux enquêtes. Ils doivent résister à des conditions de feu définies dans le cadre de la certification.

Il est donc apparu nécessaire de tenter de répondre aux questions suivantes :

- le modèle de DFDR qui équipait le F-GGED était-il conforme aux normes de certification?
- les contraintes de température auxquelles a été soumis le DFDR étaient-elles supérieures aux normes?

- est-il souhaitable de réviser les normes de certification?

25.112 - En ce qui concerne la première interrogation, le modèle Fairchild F800 a été officiellement certifié par de nombreux pays. Le NTSB indique qu'il résiste à un feu plus important (il satisfait aux normes les plus récentes : ED 55) que celui défini par la norme TSO C51a applicable aux enregistreurs qui étaient susceptibles d'équiper le F-GGED (cette norme date de 1966).

Extrait du TSO C51a :

" Protection contre le feu.
Le moyen d'enregistrement doit rester intact de sorte que les informations peuvent être analysées après que l'enregistreur ait été exposé à des flammes de 1100 °C enveloppant au moins 50% de la surface externe du boîtier pendant les périodes de temps suivantes : Type I - 30 minutes - Type II - 15 minutes - Type III - 1,5 minute."

Extrait de l'ED 55 :

" Feu:
a. L'enregistreur devra être soumis à un feu produisant un flux thermique minimum de 158 kW/m^2. La totalité de la surface extérieure de l'enregistreur sera exposée à ce feu pendant une période continue d'au moins 30 minutes. Une constante d'absorption peut s'appliquer. (..). Aucun écran ne sera autorisé.
NOTA : Les fabricants d'équipement sont fortement encouragés à donner une protection pratique maximale contre le feu supérieure à la période de 30 minutes prévue dans cette MOPS.
b. La température de la flamme doit être de 1100 °C (nominal), mesurée à une distance de 25 mm (1 pouce) de la surface de l'enregistreur. La configuration du brûleur doit délivrer le flux thermique défini en a.
c. Avant les essais au feu, l'enregistreur aura été préconditionné à une température interne stable correspondant à celle atteinte après un fonctionnement à température ambiante de 25 (± 5) °C. Les composants électroniques extérieurs au module mémoire protégé contre le crash pourront être enlevés.
d. L'enregistreur devra se refroidir naturellement après l'essai au feu.
e. La protection du support d'enregistrement peut dépendre entièrement ou en partie d'une barrière thermique qui n'est pas efficace au-dessous d'une température critique si l'on se rapporte à la température maximale de survie du support d'enregistrement. La survie de ce support devra alors être démontrée à une température minimale efficace de la barrière thermique pendant une certaine période. Cette période devra être d'au moins 30 minutes augmentée d'un facteur proportionnel au rapport entre la température minimale efficace de la barrière thermique et la température maximale de survie du support d'enregistrement.
f. Si l'efficacité du matériau de protection anti-feu diminue lorsque l'enregistreur fonctionne normalement et/ou est stocké, le matériau devra être porté à son niveau minimum acceptable de protection au moyen de cycles prolongés de mise en pression et température par exemple."

25.113 - En ce qui concerne la seconde interrogation, les travaux d'expertise ont montré que le boîtier du DFDR avait été soumis pendant environ quinze minutes à un feu de haute intensité (température supérieure ou égale à 700 °C), puis pendant cinq à six heures à un feu d'intensité moindre (température moyenne estimée à 260 °C). Ajoutons que les examens auxquels ont été soumis des éléments du système enregistreur ont montré que l'intérieur du boîtier a dû être soumis à une température de 430°C pendant quarante cinq minutes environ (voir § 112.151). Ces valeurs associées de températures et de durées sont supérieures aux valeurs prévues par la norme de certification. Les contraintes auxquelles a été soumis cet enregistreur sont donc, de ce point de vue, extraordinaires.

25.114 - En ce qui concerne la troisième interrogation, la commission observe que le cas rencontré ici n'est pas un cas isolé. Les constats effectués après d'autres accidents sur des enregistreurs qui satisfont pourtant aux normes les plus récentes montrent que ces dernières devraient être reconsidérées, en particulier pour ce qui concerne la résistance au feu de longue durée.

Rappel : le QAR et les mémoires non volatiles de certains calculateurs embarqués sont des sources de données enregistrées qui ont été exploitées dans le cadre de cette enquête, mais qui, contrairement aux enregistreurs réglementaires (DFDR et CVR), ne sont soumises à aucune norme en matière de protection aux

contraintes subies en cas d'accident.

25.12 - Informations enregistrées

25.121 - Paramètres de vol enregistrés

Les paramètres enregistrés par le DFDR l'étaient aussi par le QAR (mêmes paramètres et même échantillonnage de l'enregistrement). C'est pourquoi les réflexions qui ont pu être menées dans le cadre de cette enquête sur la quantité et la qualité des informations disponibles sur l'enregistrement QAR, trouvent directement leur application dans le choix de la trame de paramètres à enregistrer.

A l'époque de l'accident, la norme qui s'appliquait aux appareils tels que l'A320 fixait à vingt-cinq paramètres la trame minimale d'enregistrement. En fait les DFDR qui équipent les A320 enregistrent plus de deux cents paramètres.

Malgré cela, la reconstitution des circonstances de l'accident a été compliquée par le fait que certains paramètres relatifs principalement à la conduite du vol (commande du FCU) et à la surveillance du vol (affichages d'informations de vol sur écrans cathodiques) ne sont pas enregistrés. Le recours à des méthodes de simulation (par exemple, la comparaison des valeurs enregistrées de certains paramètres du vol du F-GGED avec un comportement simulé suivant différentes hypothèses de commande) et à l'exploitation du contenu de certaines mémoires non volatiles a permis de pallier la plupart de ces manques, sans toutefois permettre de faire la lumière sur toutes les informations importantes. A titre d'exemple il n'a pas été possible de déterminer les affichages sélectionnés par le copilote sur son écran de navigation.

On note que les nouvelles spécifications en la matière (ED 55) répondent à ces préoccupations (voir § 118.42). Néanmoins, les avions construits avant l'introduction de ces normes dans les réglementations nationales demeureront, si aucune action n'est menée, au standard antérieur.

25.122 - Enregistrement des conversations et des alarmes sonores

Il a été fait état dans ce rapport des difficultés rencontrées pour comprendre les paroles des deux pilotes enregistrées sur le CVR (voir § 112.134). Ce problème est souvent rencontré lors des enquêtes. Actuellement, en l'absence d'autres solutions techniques, une solution consiste en l'utilisation de microphones permanents ("hot mike"), et les travaux internationaux les plus récents (ED 56) en réaffirment l'efficacité pour la compréhension des paroles des pilotes.

25.123 - Enregistrement d'informations visuelles dans le poste de pilotage

Actuellement on ne dispose d'aucun moyen permettant de connaître avec certitude les informations qui étaient affichées avant un accident sur le FCU et sur les écrans de pilotage et de navigation. De même les actions des pilotes et leurs éventuelles communications non verbales ne sont pas enregistrées.

Compte tenu de l'importance de telles informations dans la connaissance et la compréhension des circonstances d'un accident, il conviendrait d'étudier le concept d'enregistrement d'images sur support protégé.

25.2 - Enregistreurs sol

25.21 - Informations radar

L'image radar fournie à l'approche de Strasbourg n'est pas enregistrée. L'absence d'enregistrement du radar local de Strasbourg a empêché de disposer de l'image des pistes fournies par cette station au contrôleur d'approche.

En France neuf centres de contrôle d'approche sont dotés d'un système d'enregistrement de leur radar local : Bâle-Mulhouse, Bordeaux, Marseille, Nice, Orly, Pointe à Pitre, Roissy, Satolas et Toulouse. Le fait de disposer d'un tel système aurait probablement permis d'affiner la connaissance et l'analyse des conditions dans lesquelles a été fourni le guidage radar.

Il conviendrait donc que l'ensemble des centres de contrôle d'approche qui disposent d'un radar local soient équipés d'un système d'enregistrement de ce radar.

25.22 - Radiocommunications

Les radiocommunications établies entre les organismes de la circulation aérienne et les aéronefs qu'ils ont en charge sont enregistrées. Dans le cas du F-GGED, ces enregistrements ont été exploités sans difficulté technique.

25.3 - Coordination des procédures administrative et judiciaire

Le dispositif de coordination des enquêtes administrative et judiciaire a été décrit au § 118.5. La commission d'enquête constate que, bien que le souci de stricte formalisation d'un certain nombre d'actes ait été très présent de la part des autorités judiciaires (vis à vis des enregistreurs notamment), les enquêteurs techniques ont pu, dans l'ensemble, prendre les dispositions nécessaires sur le terrain et que, vraisemblablement, aucune donnée sensible n'a été perdue du fait de ces procédures.

La commission d'enquête constate toutefois que ce résultat tient plus à la chance et à la qualité des contacts qui ont été établis et maintenus sur le terrain entre les autorités administrative et judiciaire qu'à l'adéquation du cadre de coordination institutionnel fixé par l'instruction interministérielle du 3 janvier 1953 qui ne s'impose pas au juge. Dans le cadre de sa procédure, celui-ci a en effet toujours tendance à privilégier la rigueur dans la saisie des indices. Or, celle-ci peut parfois être néfaste à leur préservation si certaines mesures de sauvegarde ne sont pas prises immédiatement.

Il conviendrait donc de tirer tous les enseignements de l'expérience vécue à l'occasion de cet accident par les responsables des enquêtes administrative et judiciaire et de mettre au point un cadre juridique permettant l'intervention des enquêteurs techniques de façon à pouvoir rechercher, préserver puis saisir les indices essentiels avec les meilleures garanties de préservation, dans un cadre judiciaire néanmoins incontestable.

SECTION 3 - CONCLUSIONS

CHAPITRE 3.1 - FAITS ETABLIS PAR L'ENQUETE

Le F-GGED détenait un certificat de navigabilité individuel en état de validité.

Il était entretenu conformément à la réglementation en vigueur.

Il était à l'intérieur des limites de masse et de centrage pendant tout le vol de l'accident.

Il était en état de navigabilité sans panne connue.

Sur ce type d'avion des anomalies relatives au traitement par les systèmes de bord des informations VOR avaient été notifiées. Elles faisaient l'objet d'une information aux équipages et d'une procédure opérationnelle. L'enquête n'a pas mis en évidence de dysfonctionnement de la chaîne de traitement des informations VOR, ni de signe que l'équipage ait perçu des battements de l'indication VOR résultant d'un tel dysfonctionnement, au cours de la phase d'alignement sur l'axe d'approche avant la mise en descente vers la piste.

Des anomalies susceptibles d'affecter le fonctionnement des systèmes DME du type de ceux qui équipaient le F-GGED avaient été identifiées. Elles faisaient l'objet d'une information aux équipages et d'une procédure opérationnelle. Les modifications définies par l'équipementier n'avaient pas encore été appliquées sur les équipements DME du F-GGED. Cependant l'enquête a permis de réfuter, sur la base des éléments techniques disponibles, l'hypothèse qu'une défaillance de type "deaf mode", "sleeping mode" ou "jumping mode" se soit produite au voisinage du moment de la décision de mise en descente vers la piste.

Des anomalies de fonctionnement de FCU sur A320 ont été notifiées quelques mois après l'accident. L'enquête n'a pas mis en évidence de dysfonctionnement du FCU qui équipait le F-GGED. Il n'a cependant pas été possible d'écarter l'hypothèse d'une défaillance du bouton poussoir de changement de mode, ou d'une corruption de la valeur cible affichée par le pilote sur le FCU avant sa prise en compte par le calculateur du

pilote automatique.

Le F-GGED n'était pas équipé d'un dispositif avertisseur de proximité de sol (GPWS).

La station sol VOR STR de Strasbourg était en état de fonctionnement. Le contrôle en vol a montré que les caractéristiques du signal émis étaient comprises dans les tolérances adoptées par l'OACI. Cependant des irrégularités dues à la recomposition du signal direct et des signaux réfléchis par les reliefs ont été constatées dans le secteur de la trajectoire d'approche, entre 9 et 8 NM de la station STR. Ces irrégularités étaient de nature à provoquer une instabilité des indications à bord après la mise en descente, sur le segment correspondant de la trajectoire, d'autant que celle du F-GGED était anormalement basse sur l'horizon radioélectrique de la station sol.

La procédure d'approche VOR-TAC 05 de Strasbourg est dérogatoire sur trois points en raison des contraintes apportées par l'environnement de la circulation aérienne de Strasbourg et par le relief. En particulier le tronçon d'approche intermédiaire ne comporte pas de palier.

L'équipage détenait les brevets, licences et qualifications réglementaires nécessaires à l'accomplissement du vol. Sur Airbus A320, l'expérience du commandant de bord était de 162 heures, et celle du copilote était de 61 heures.

Les analyses toxicologiques ont permis d'estimer que l'alcoolémie était nulle pour le commandant de bord et inférieure à 0,30 g/l pour le copilote.

Le commandant de bord était le pilote aux commandes.

L'équipage avait prévu d'effectuer une approche ILS 23 suivie d'une manoeuvre à vue pour la piste 05 en service. Le contrôleur s'attendait quant à lui à ce qu'il effectue une approche directe VOR-TAC 05.

Lors de l'arrivée, après que l'avion ait passé ANDLO et que l'équipage ait signalé son intention d'effectuer une approche ILS 23 suivie d'une manoeuvre à vue pour la piste 05, le contrôleur a informé l'équipage que cela ne serait possible qu'après une attente due à trois départs IFR en piste 05.

Jusqu'à cet instant, l'équipage et le contrôleur n'étaient pas conscients de la différence de leurs projets respectifs.

L'équipage a changé sa stratégie et a choisi d'effectuer une procédure VOR-TAC 05 pour éviter l'attente annoncée.

Pour écourter la procédure VOR-TAC 05, le contrôleur a proposé à l'équipage un guidage radar pour l'amener jusqu'au point ANDLO. L'équipage a accepté cette proposition.

Le guidage radar n'a pas permis à l'équipage d'aligner l'avion sur l'axe d'approche à ANDLO.

Autorisé à l'approche finale, l'équipage a entrepris la descente alors que l'avion était encore à environ dix degrés à gauche de l'axe d'approche.

La descente a débuté à 11 NM du TACAN STR c'est à dire à la distance nominale publiée.

La vitesse verticale de l'avion s'est stabilisée à 3300 ft/mn, au lieu de la valeur de 800 ft/mn environ correspondant au plan de descente conforme à la procédure publiée à la vitesse nominale d'approche.

Le mode de pilotage, utilisé pour le dernier virage et la mise en descente, était un mode de pilotage automatique "sélecté". La référence de trajectoire n'a pas été modifiée entre le dernier virage et l'instant de l'accident et il s'agissait presque sûrement de la référence HDG-VS.

L'auto-poussée était en mode SPEED.

Au moment de l'accident l'avion était en configuration 2, avec le train sorti.

Il faisait nuit et l'avion était en conditions de vol sans visibilité.

L'avion a percuté le mont La Bloss qui culmine à 826 m (2710 ft). Le point d'impact est situé à une altitude de 799 m (2620 ft), à environ 0,8 NM à gauche de l'axe de piste, 10,5 NM du seuil de la piste 05, et 8,2 NM des stations sol VOR et TACAN STR.

Les consignes de préparation de la cabine avant l'atterrissage avaient été effectuées et tous les occupants de l'appareil étaient assis et attachés sauf un membre du personnel commercial.

Neuf personnes ont survécu à l'accident.

La balise de détresse a été détruite à l'impact.

Les opérations de recherche ont abouti à la découverte de l'avion un peu plus de quatre heures après l'accident.

CHAPITRE 3.2 - MECANISMES DE L'ACCIDENT

En analysant les mécanismes de l'accident, la commission est parvenue aux conclusions suivantes :

32.1- Du fait des ambiguïtés de la communication entre l'équipage et le contrôle, l'équipage a modifié tardivement sa stratégie d'approche. Il s'est ensuite laissé guider par le contrôleur en relâchant son attention, notamment vis à vis de sa représentation de la position de l'avion, et a insuffisamment anticipé la préparation de la configuration de l'avion pour l'atterrissage.

32.2- Dans ce contexte, et du fait que le guidage radar effectué par le contrôleur n'a pas amené l'avion dans une position permettant au pilote en fonction d'aligner l'avion sur l'axe avant ANDLO, l'équipage a été confronté à une pointe instantanée de charge de travail pour procéder aux corrections latérales nécessaires, préparer la configuration de l'avion et le mettre en descente.

32.3 - L'événement pivot de la séquence accidentelle a alors été la mise en descente de l'avion à la distance prévue par la procédure, mais à un taux anormalement élevé de 3300 ft/mn au lieu d'environ 800 ft/mn, et l'absence de correction de ce taux anormal par l'équipage.

32.4 - La raison de l'apparition de ce taux de descente anormalement élevé n'a pas pu être déterminée par l'enquête avec certitude. Parmi toutes les hypothèses qu'elle a explorées, la commission a retenu, comme lui paraissant appeler plus particulièrement une réflexion élargie et des actions de prévention:

32.41 - les hypothèses, assez probables, d'une confusion de mode vertical (résultant soit d'un oubli de changement de référence de trajectoire, soit d'une mauvaise exécution de la commande de changement) ou d'une erreur d'affichage de la valeur de consigne (affichage machinal de la valeur numérique annoncée lors du briefing).

32.42 - l'hypothèse, très peu probable, d'une défaillance du FCU (défaillance du bouton poussoir de changement de mode ou corruption de la valeur de consigne affichée par le pilote sur le FCU avant sa prise en compte par le calculateur du pilote automatique).

32.5 - Dans toutes ces hypothèses retenues par la commission, l'accident a été rendu possible par l'absence de perception par l'équipage de l'anomalie résultante de trajectoire verticale, manifestée notamment par une vitesse verticale environ quatre fois plus forte que la valeur de référence, une assiette anormale à piquer, et une augmentation de la vitesse sur trajectoire.

32.6 - La commission attribue cette absence de perception de l'équipage aux facteurs suivants, dont l'ordre de présentation ne prétend pas établir une quelconque hiérarchie:

32.61 - un fonctionnement de l'équipage inférieur à la moyenne et caractérisé par une pauvreté notable des contrôles mutuels et des contrôles du résultat des actions déléguées aux automatismes. Cette pauvreté se manifeste en particulier par le non respect d'une bonne part des annonces prévues par le manuel d'exploitation

et l'absence des contrôles de hauteur/distance prévus pour l'exécution d'une approche VOR DME;

32.62 - un climat interne à l'équipage caractérisé par une communication minimum;

32.63 - l'ergonomie de présentation des paramètres de contrôle de la trajectoire verticale, adaptée aux situations normales, mais ne possédant pas un pouvoir d'alerte suffisant pour un équipage en situation d'erreur de représentation;

32.64 - une modification tardive de la stratégie d'approche, induite par les ambiguïtés de la communication entre l'équipage et le contrôle;

32.65 - un relâchement de l'attention de l'équipage pendant la phase de guidage radar, suivi d'une pointe instantanée de charge de travail qui l'a conduit à privilégier la navigation horizontale et l'établissement de la configuration de l'avion, et à déléguer totalement la navigation verticale aux automatismes de l'avion;

32.66 - en phase d'alignement sur l'axe d'approche, une focalisation de l'attention des deux membres d'équipage sur la navigation horizontale et leur absence de surveillance de la trajectoire verticale pilotée en mode automatique;

32.67 - l'absence de GPWS et d'une doctrine d'emploi appropriée, qui a privé l'équipage d'une dernière chance d'alerte sur l'anomalie grave de la situation.

32.7 - Par ailleurs, et nonobstant l'hypothèse de défaillance du FCU, la commission considère que la conception ergonomique des commandes d'ordre de pilotage automatique dans le plan vertical a pu participer à la genèse de la situation accidentelle. Cette conception lui a semblé en effet de nature, notamment dans les cas de charge de travail instantanée importante, à accroître la probabilité de certaines erreurs d'utilisation.

CHAPITRE 3.3 - CONTEXTE DE L'EXPLOITATION

En analysant le contexte de l'exploitation du F-GGED, la commission a noté:

33.1 - les lacunes du système de retour d'expérience national et international, essentiellement dans le domaine de l'utilisation opérationnelle de l'avion. Elément essentiel pour la sécurité, ce système repose sur la collaboration active des pilotes, des compagnies, des constructeurs et de l'administration. Or, le recueil de l'information et sa diffusion y sont manifestement insuffisants;

33.2 - l'absence de réglementation nationale rendant obligatoire l'emport d'un dispositif avertisseur de proximité de sol;

33.3 - la faible expérience des deux pilotes sur le type d'avion, et l'absence de règlement ou de recommandation nationale ou internationale sur ce sujet;

33.4 - la faiblesse du contrôle technique exercé sur Air Inter par l'administration, peu en mesure de détecter d'éventuelles dérives dans l'exploitation (par exemple en matière d'annonces);

33.5 - des indices de faible stabilité dans le temps des pratiques d'annonces enseignées lors de la qualification de type;

33.6 - le petit nombre d'approches "classiques" dans les programmes de qualification de type et d'adaptation en ligne, ainsi qu'une faible pratique de ces approches en exploitation normale;

33.7 - l'inadaptation des interprétations actuelles du règlement de certification et des méthodes acceptées de démonstration de conformité associées, vis à vis des problèmes d'ergonomie de l'interface avion-équipage soulevés par la dernière génération de postes de pilotage.

CHAPITRE 3.4 - OPERATIONS DE RECHERCHE ET DE SECOURS

En ce qui concerne les opérations de recherche et de secours, la commission a noté :

34.1 - la survie de plusieurs personnes malgré l'extrême violence de l'impact;

34.2 - la destruction à l'impact de la radiobalise de détresse. Cet équipement n'a donc pu jouer aucun rôle dans les opérations de recherche;

34.3 - les mauvaises conditions météorologiques qui ont gêné les opérations de recherche;

34.4 - la longueur et la difficulté des opérations de recherche qui infirment des idées reçues concernant la facilité de découverte de l'épave d'un gros avion de transport;

34.5 - les difficultés de coordination des dispositifs de recherche et le temps nécessaire à la montée en puissance du dispositif de recherches terrestres;

34.6 - les difficultés rencontrées dans l'organisation et la conduite des opérations de secours, entraînant notamment la non intervention sur le site des équipes médicales spécialisées dans le traitement des polytraumatismes graves;

34.7 - la gêne causée aux opérations de secours par l'encombrement des routes d'accès au Mont Sainte-Odile.

SECTION 4 - MESURES PRISES ET RECOMMANDATIONS COMPLEMENTAIRES

Avertissement:

Les recommandations qui suivent expriment les enseignements que la commission a estimé pouvoir tirer de son analyse de l'accident, dans le but d'améliorer la sécurité du transport aérien. Elles sont formulées au terme d'investigations approfondies, et s'appuient donc sur des connaissances et une compréhension qui peuvent différer notablement de celles dont pouvaient disposer les différents acteurs avant l'accident. D'autre part, dans cette démarche, la commission a considéré que le doute devait profiter à la sécurité. Elle n'a donc pas limité son champ de recommandation aux seuls points liés à l'accident par des relations de causalité directes ou démontrées, ni sélectionné ses axes de réflexion selon la seule hiérarchie des probabilités qu'elle a pu associer par ailleurs aux différentes hypothèses de scénario.

CHAPITRE 4.1 - RECOMMANDATIONS RELATIVES A L'EQUIPAGE

41.1 - Information des équipages relative à la conduite du vol lors de la mise en descente.

La commission a approuvé le 20 février 1992 "les premières dispositions prises immédiatement par la DGAC pour informer les exploitants du risque de confusion entre les modes Vertical Speed et Flight Path Angle, et leur demander de vérifier la protection apportée par leurs procédures de travail en équipage, leur documentation, et la compréhension qu'en ont les équipages".

Pour expliquer la mise en descente à un taux anormalement élevé, la commission a retenu plusieurs hypothèses parmi lesquelles celle d'une commande involontaire par l'équipage, par suite d'une mauvaise conscience du mode de pilotage automatique vertical. Cette hypothèse recouvre plusieurs variantes qui ont notamment trait au choix du mode de guidage vertical, à sa commande et à son contrôle par l'équipage.

Il apparaît donc nécessaire de s'assurer que les procédures adéquates de conduite du vol sont enseignées aux équipages.

En conséquence, la commission d'enquête confirme la recommandation préliminaire du 20 février 1992 citée ci-dessus.

41.2 - Appariement des équipages

L'enquête a mis en évidence la faible expérience sur le type des deux pilotes du F-GGED (respectivement 162 heures et 61 heures pour le commandant et le copilote). Par ailleurs elle a établi un lien probable entre cette faible expérience et le fait que les pilotes n'aient pas pris conscience de l'anomalie grave de la situation verticale. Plus généralement, les statistiques d'accident et les études ergonomiques convergent pour indiquer qu'une expérience sur le type représentant environ un an d'activité est nécessaire avant que soit atteinte la pleine maturité des connaissances et des savoir-faire acquis sur les avions de nouvelle génération. La

constitution d'un équipage avec deux pilotes faiblement expérimentés constitue donc un facteur d'augmentation de risque.

Lors de la mise en ligne d'un nouveau type d'avion dans une compagnie, tous les pilotes sont faiblement expérimentés. Mais ensuite il devient possible de faire en sorte que l'expérience totale de l'équipage dépasse un certain seuil. Or la réglementation française actuelle ne comporte pas de disposition incitant ou obligeant les exploitants détenteurs d'une autorisation de transport public à tenir compte de l'expérience des pilotes sur le type pour l'appariement des équipages.

En conséquence, la commission recommande :

- **que les exploitants étudient et mettent en application des méthodes de gestion des personnels navigants visant à prévenir, dans la mesure du possible, l'appariement de deux pilotes de faible expérience sur le type d'avion;**

- **que la DGAC, en liaison avec les autorités européennes compétentes et les instances internationales pertinentes, prenne les mesures incitatives appropriées et, le cas échéant, fasse évoluer la réglementation dans ce sens.**

Note 1 :
La compagnie Air Inter a mis en vigueur depuis avril 1992 une règle d'appariement des équipages qui interdit de constituer des équipages constitués de deux pilotes "nouveaux" sur A320. Est considéré comme "nouveau" un pilote qui possède moins de 300 heures de vol sur A320, ce minimum étant porté à 500 heures si le pilote totalisait moins de 1000 heures de vol en tant que copilote ou commandant de bord avant d'arriver au secteur A320.

Note 2 :
Suite notamment à une recommandation du NTSB du 3 novembre 1988, la FAA a publié une NPRM (Notice of Proposed Rule Making) le 23 mars 1993 concernant l'expérience minimum des pilotes pour les vols effectués sous le régime de la FAR 121.

41.3 - Formation aux approches dites "classiques"

L'enquête a fait apparaître une certaine réticence de la part du commandant vis à vis d'une approche VOR-DME, ainsi que des insuffisances manifestes dans l'exécution de cette approche par l'équipage. Par ailleurs elle a fait apparaître que la formation reçue par les deux pilotes lors de leur qualification de type était plus axée vers l'étude des approches automatiques et des pannes que vers les approches "classiques". Or d'une part la conduite de ces approches peut également comporter des difficultés sur les avions de dernière génération, et d'autre part leur faible fréquence de réalisation en ligne tend à engendrer ensuite un sous-entraînement.

Cependant les critères actuels d'approbation des programmes de qualification de type ne comportent pas d'exigence particulière en matière d'approche "classique".

En conséquence, la commission recommande :

- **que la DGAC incite les organismes concernés à renforcer la formation aux approches dites "classiques" sur les plans quantitatif et qualitatif par la définition d'un minimum réglementaire au niveau de la qualification de type et du programme de maintien des compétences et d'un minimum souhaitable dans le programme d'adaptation en ligne.**

41.4 - Entraînement au simulateur concernant les anomalies liées aux logiciels embarqués et aux EFIS

Les analyses conduites pour tenter d'établir le scénario de l'accident ont amené à envisager des dysfonctionnements liés aux logiciels embarqués ou aux EFIS (anomalies concernant les informations VOR ou DME, la carte de navigation, le FCU, etc.). Certains de ces dysfonctionnements sont acceptés par la certification avec des critères associés au postulat que l'équipage les reconnaîtra et les traitera convenablement. Ceci suppose que les programmes de qualification de type et d'entraînement récurrent prennent convenablement en compte ces aspects.

Or les catalogues de pannes disponibles aujourd'hui sur les simulateurs de vol ne permettent pas la simulation

de certaines des anomalies évoquées ci-dessus.

En conséquence, la commission recommande :

- **que les programmes de formation et de contrôle soient révisés pour inclure des scénarios d'anomalies de situation spécifiques à l'utilisation des logiciels embarqués et des EFIS, et tirés du retour d'expérience;**

- **que les autorités concernées par l'agrément des simulateurs procèdent à une révision des catalogues de pannes proposées pour tenir compte des pannes spécifiques associées aux logiciels embarqués et aux EFIS.**

41.5 - Transition entre avions classiques et avions de nouvelle génération

Les deux pilotes du F-GGED ne possédaient aucune expérience sur avion de nouvelle génération avant d'aborder leur formation sur A320. De plus leur expérience précédente concernait des avions pilotés avec un équipage à trois. La commission a estimé que ceci constituait une situation de nouveauté très importante, difficilement comparable à la découverte d'un nouveau type d'avion de même génération. Elle a noté à cet égard l'existence dans le programme de formation d'Air Inter d'un module (dit STAN) préparatoire à la qualification de type proprement dite. Elle en approuve le principe, mais a émis quelques réserves (cf § 23.134) sur sa conception très orientée vers une présentation technique théorique.

En conséquence, la commission recommande :

- **que, lors de la mise en oeuvre par un exploitant d'un avion ou d'un équipement dont la conception entraîne une modification substantielle des concepts opérationnels, l'exploitant assure une formation préparatoire concernant au moins:**

1) les principes de conception, l'architecture et la philosophie d'utilisation des systèmes nouveaux;

2) les effets de cette novation sur les relations internes à l'équipage, la répartition des tâches, les rapports de l'équipage à l'avion et aux équipes au sol;

- **que cette formation soit appuyée sur une présentation pratique et opérationnelle des fonctions nouvelles;**

- **que les autorités compétentes pour l'approbation des programmes de qualification de type et des méthodes d'entraînement des équipages s'assurent de la mise en oeuvre de ces principes.**

Note :
La compagnie Air Inter a décidé de modifier le contenu de son stage d'adaptation aux avions nouveaux (STAN) pour l'orienter à partir de septembre 1993 vers une présentation moins académique et plus opérationnelle des avions de nouvelle génération.

41.6 - Formation aux facteurs humains

L'analyse du comportement de l'équipage du F-GGED a mis en évidence des carences importantes dans les domaines de la communication, de la répartition des tâches, du contrôle mutuel et de la surveillance des automatismes. De fait, la commission a considéré que le fonctionnement de l'équipage avait constitué l'un des éléments importants du mécanisme de l'accident.

La réglementation française ne comporte aujourd'hui aucune disposition relative à la formation des équipages dans le domaine des facteurs humains, et plus précisément de la gestion des ressources disponibles dans le cockpit.

En conséquence, la commission d'enquête recommande :

- **que soit introduite dans les formations initiales des pilotes de transport une formation théorique**

et pratique aux facteurs humains, telle que spécifiée par l'Annexe 1 de l'OACI;

- **que les exploitants titulaires d'une autorisation de transport public introduisent rapidement des programmes de formation complémentaire de type "CRM" (Cockpit Resource Management) pour tous leurs pilotes, si possible dès le stade de la qualification de type;**

- **que les autorités compétentes prennent des dispositions incitatives ou réglementaires appropriées à cette fin;**

- **que les contrôles de compétence effectués par les exploitants et les contrôles en vol effectués par les autorités incluent la qualité du travail en équipage dans leurs critères principaux d'appréciation.**

41.7 - Réflexion générale sur les annonces à bord

L'enquête a montré que des déviations importantes par rapport aux procédures d'annonces prévues par la compagnie s'étaient produites au cours du vol de l'accident. L'analyse fait apparaître que ces absences d'annonce ont pu contribuer à affaiblir le contrôle mutuel et la conscience de chaque pilote vis à vis de la situation réelle.

Plus généralement, il semble bien que dans la pratique quotidienne de la ligne, la restitution moyenne des annonces soit dégradée par rapport aux annonces prévues, sans que l'ampleur et les raisons du phénomène soient bien connues. Or le contrôle mutuel présente un caractère critique pour la sécurité, particulièrement sur les avions de dernière génération.

En conséquence la commission recommande:

- **que soit entreprise une étude des pratiques quotidiennes en matière d'annonces, une analyse des causes de délitement des apprentissages dans ce domaine, et une recherche de méthodes et de procédures suffisamment stables dans le temps pour la surveillance des automatismes de haut niveau, ainsi que pour le contrôle mutuel au sein de l'équipage.**

CHAPITRE 4.2 - RECOMMANDATIONS RELATIVES AUX DISPOSITIFS D'ALARME DE PROXIMITE DE SOL

42.1 - Point sur la réglementation relative à l'emport du GPWS

La commission a recommandé dès le 20 février 1992 que: "la réglementation française soit amendée dans les meilleurs délais pour rendre obligatoire pour des aéronefs de transport aérien l'emport d'un dispositif avertisseur de proximité du sol (GPWS) dans les mêmes conditions techniques que celles spécifiées par le paragraphe 6.15 de l'Annexe 6 à la Convention de Chicago."

Compte tenu de la décision prise par le Ministre le 24 février 1992 à la suite de cette recommandation, la compagnie Air Inter a procédé en 1992 à l'équipement de toute sa flotte en GPWS.

De plus, l'arrêté du 5 novembre 1987 relatif aux conditions d'utilisation des avions exploités par une entreprise de transport aérien a été modifié par arrêté du 12 janvier 1993. Le paragraphe cité ci-dessous a été inséré :

" Tout avion équipé de moteurs à turbine, de trente et un passagers et plus, ou de masse maximale certifiée au décollage supérieure à 15000 kg, doit être doté d'un avertisseur de proximité du sol. Ce dispositif doit être capable de générer des alarmes provenant d'un rapprochement excessif du sol, d'un taux de descente anormalement élevé, d'une perte d'altitude après décollage ou remise des gaz, et d'un écart anormal sous un faisceau de radioalignement de descente ".

L'analyse faite au § 22.36 ne conclut pas que la présence à bord d'un GPWS aurait permis d'éviter cet accident. Elle démontre toutefois que statistiquement l'emport de cet équipement est bénéfique et, qu'avec des

procédures adaptées, il est très probable que l'équipage aurait réagi positivement à l'alarme.

La commission d'enquête confirme donc sa recommandation préliminaire du 20 février 1992 citée ci-dessus.

42.2 - Entraînement des équipages; Conception des procédures de circulation aérienne

Les simulations réalisées dans le cadre de l'enquête sur l'accident du F-GGED ont montré que la vitesse d'évolution de l'avion est un élément déterminant en ce qui concerne le risque de déclenchement d'alarmes intempestives susceptibles de réduire fortement la confiance de l'équipage dans ce système.

Certains vols contrôlés dans le relief ont conduit à des accidents alors même qu'un système GPWS était opérationnel à bord et avait émis une alarme suffisamment précoce. D'autres cas ont eu lieu pour lesquels le GPWS avait été mis hors service, délibérément ou à cause d'un problème de maintenance. Ceci peut résulter de causes distinctes : désintérêt à l'égard du système, méfiance vis à vis des alarmes intempestives, ou non prise en compte immédiate par l'équipage d'une alarme qui contredit son processus de réflexion à un moment donné.

L'emport de l'équipement doit donc être accompagné d'une série de mesures de nature à améliorer la définition des consignes d'utilisation des avions, à assurer l'entraînement des équipages en ce qui concerne la conduite à tenir en cas de déclenchement d'alarme, et à modifier les procédures de circulation aérienne de façon à éliminer les cas possibles d'alarmes intempestives.

En conséquence la commission recommande :

- **que les compagnies aériennes développent des procédures d'utilisation de l'avion et des pratiques d'entraînement adaptées aux systèmes avertisseurs de proximité du sol;**

- **que les organismes de la circulation aérienne tiennent compte dans l'élaboration de leurs procédures des critères de déclenchement d'alarmes des systèmes embarqués d'avertissement de proximité du sol et que l'Instruction N°20754/DNA soit amendée en conséquence.**

42.3 - Système sol d'alarme de rapprochement excessif par rapport au relief

Un système au sol né du concept MSAW (Minimum Safe Altitude Warning), déjà opérationnel dans certains pays, est en cours d'étude en France. L'objectif de ce système est de permettre à l'organisme de contrôle d'informer aussi tôt que possible l'équipage d'un aéronef en cas de rapprochement dangereux par rapport au relief.

En assurant la pluralité des moyens de détection des rapprochements dangereux par rapport au relief, la mise en oeuvre d'un tel système, devrait réduire les occurrences de "vols contrôlés dans le relief".

En conséquence, la commission d'enquête recommande :

- **qu'un effort particulier soit fait pour mener à bien dans les meilleurs délais l'étude et la mise en oeuvre par les services de la circulation aérienne d'un système sol de détection du rapprochement dangereux d'un aéronef par rapport au relief, là où ce sera techniquement possible.**

CHAPITRE 4.3 - RECOMMANDATIONS RELATIVES AUX ENREGISTREURS

43.1 - Normes de résistance des enregistreurs réglementaires

L'exploitation de l'enregistreur de paramètres de vol DFDR qui équipait le F-GGED s'est avérée impossible du fait de la destruction par le feu du support d'enregistrement magnétique.

Les examens réalisés ont permis d'établir que le DFDR satisfaisait aux normes en vigueur et que ce sont en

fait les critères de résistance aux feux de moyenne ou basse intensité mais de longue durée pris en compte par les normes de protection (y compris les plus récentes : ED 55) qui se révèlent insuffisants. De tels feux peuvent être rencontrés, notamment lorsque la localisation du lieu de l'accident et l'acheminement des moyens de lutte contre l'incendie nécessitent plusieurs heures comme cela a été le cas pour le F-GGED.

Ce cas de destruction de la bande magnétique par un feu de basse intensité mais de longue durée n'est pas unique. Il est d'ailleurs fait mention de cas comparables dans les attendus de la recommandation émise à ce propos par le NTSB à destination de la FAA en mai 1992.

En conséquence, la commission recommande :

- **qu'une étude soit entreprise par l'autorité compétente, en liaison avec les industriels et les organismes de réglementation internationaux, pour améliorer la protection des enregistreurs réglementaires contre les feux de basse intensité et de longue durée.**

43.2 - Normes relatives aux paramètres de vol enregistrés

Certains paramètres de vol ont manqué à l'analyse de l'accident pour en appuyer le scénario sur des éléments directs.

Les nouvelles normes (ED 55) prévoient leur enregistrement pour l'essentiel, mais elles n'ont été rendues applicables par l'arrêté du 12 janvier 1993 modifiant l'arrêté du 5 novembre 1987, qu'aux avions effectuant leur premier vol après le 31 décembre 1994. De ce fait, si aucune action réglementaire complémentaire

n'est entreprise, un grand nombre d'avions dotés d'un DFDR satisfaisant aux normes précédentes (TSO-C51) risquent de conserver cet équipement qui s'avère être insuffisant.

En conséquence, la commission recommande :

- **que la DGAC étudie, en liaison avec les organismes de réglementation internationaux, des modalités d'extension de cette nouvelle réglementation aux aéronefs soumis à l'obligation d'emport de cet équipement et ayant effectué leur premier vol avant le 1er janvier 1995.**

43.3 - Normes relatives à la qualité d'écoute des CVR

L'écoute du CVR du F-GGED a nécessité de nombreuses études, du fait de la faible intelligibilité des conversations de l'équipage, enregistrées par le microphone d'ambiance générale.

L'utilisation des microphones permanents (hot mike) par les équipages, notamment dans les phases de départ et d'arrivée, apporte une solution à ce problème.

La commission renouvelle donc des recommandations déjà émises sur ce sujet par d'autres commissions d'enquête et par le Bureau Enquêtes-Accidents et recommande:

- **que l'utilisation de microphones permanents (hot mike), pour les avions qui en sont équipés, soit rendue obligatoire dans les phases de départ et d'arrivée du vol;**

- **que soient poursuivies les études visant à l'amélioration de l'enregistrement de l'ambiance dans le poste de pilotage, de façon notamment à assurer une meilleure intelligibilité des conversations des membres de l'équipage de conduite.**

43.4 - Enregistrement d'informations visuelles

Actuellement les informations visuelles telles que celles fournies sur les écrans de pilotage, de navigation et de surveillance du fonctionnement de l'avion, ainsi que les gestes et les communications non verbales entre les membres d'équipage, ne sont pas enregistrés. L'absence d'enregistrement des informations visuelles a fait défaut pour établir avec certitude le scénario de l'accident du F-GGED.

Les aspects liés à l'analyse des informations visuelles fournies à l'équipage de même que ceux liés à l'ergonomie du poste de pilotage et au travail en équipage deviennent primordiaux dans les enquêtes.

En conséquence, la commission recommande :

- **que soit étudié l'enregistrement sur support protégé d'images des planches de bord du poste de pilotage, ces images étant synchronisées avec les autres enregistrements réglementaires.**

43.5 - Enregistrement des informations radar d'approche

Les informations du radar d'approche de Strasbourg n'étaient pas enregistrées. L'absence d'enregistrement de ce radar a empêché de disposer de l'image des pistes fournies par cette station au contrôleur d'approche de Strasbourg.

En France, neuf centres de contrôle d'approche disposent d'un système d'enregistrement de leur radar local. Le fait de disposer d'un tel système permet d'affiner la connaissance et l'analyse des conditions dans lesquelles sont rendus les différents services de la circulation aérienne et d'améliorer les recherches en cas de besoin.

En conséquence, la commission recommande :

- **que tous les centres de contrôle d'approche utilisant un moyen radar local soient équipés d'un système d'enregistrement et de restitution rapide des informations fournies par ce radar.**

43.6 - Coordination des procédures administrative et judiciaire

Dans son analyse sur la coordination des procédures administrative et judiciaire, notamment vis à vis des enregistreurs, la commission d'enquête a noté que, dans le cas de cet accident, les indices essentiels avaient été retrouvés et exploités. Mais elle a relevé à cet égard l'inadéquation du cadre institutionnel établi par l'instruction interministérielle du 3 janvier 1953.

Il lui apparaît en effet que le cadre actuel et l'évolution des pratiques qui privilégient la rigueur de l'acte judiciaire peuvent avoir des effets néfastes sur la préservation de certains indices essentiels comme les enregistreurs. Or il ne serait d'aucune utilité, pour l'analyse des causes d'un accident, ni même pour la recherche des responsabilités, de saisir dans la rigueur formelle des indices dont la préservation n'aurait par ailleurs pas été assurée.

En conséquence, la commission d'enquête recommande :

- **que soient étudiés le cadre juridique et les modalités dans lesquels devrait s'inscrire l'action de l'enquêteur technique, de façon à lui permettre de procéder à des actes de préservation immédiate des indices au bénéfice des enquêtes administrative et judiciaire.**

CHAPITRE 4.4 - RECOMMANDATIONS RELATIVES A L'ERGONOMIE DE L'INTERFACE AVION-EQUIPAGE

et

RECOMMANDATIONS RELATIVES A LA CERTIFICATION DES SYSTEMES DE PILOTAGE AUTOMATIQUE

44.1 - Modification de l'ergonomie du poste de pilotage de l'A320

L'enquête a montré que les scénarios les plus probables de l'accident impliquent une erreur dans la commande de la descente effectuée par le pilote par l'intermédiaire du FCU. En particulier une confusion entre les modes VS et FPA est apparue comme probable à la commission. Tous les scénarios impliquent par ailleurs une non reconnaissance par l'équipage de la très forte anomalie de trajectoire verticale résultante.

La commission a eu pleine conscience de la part prise dans la genèse de cette situation par les carences qu'elle a constatées dans la performance de l'équipage, notamment dans les domaines du contrôle mutuel et de la surveillance des automatismes. Au terme de sa réflexion, la commission considère cependant qu'on ne peut pas du tout exclure le renouvellement de contextes perturbateurs susceptibles de dégrader de façon comparable la rigueur des contrôles mutuels au sein d'un équipage, quel que soit le niveau de formation.

Par ailleurs, la réflexion menée par la commission l'a conduite à considérer que la conception ergonomique de la commande concernée du pilote automatique a pu participer à la genèse de la situation accidentelle: cette conception lui a semblé de nature à favoriser certaines confusions susceptibles d'entraîner un résultat catastrophique si elles ne sont pas détectées, alors que la symbologie du PFD n'offre pas les meilleures chances d'une telle détection.

La commission d'enquête confirme donc et précise sa recommandation préliminaire du 20 février 1992 concernant la conception de l'interface avion-équipage relative aux modes verticaux du pilotage automatique sur A320.

En conséquence, la commission d'enquête recommande pour l'A320 :

- **que la valeur cible de VS ou de FPA soit affichée sur le PFD pour mise en cohérence avec la philosophie fondamentale d'utilisation enseignée (commande effectuée au FCU, contrôle de l'ordre et de son résultat sur le PFD);**

- **que l'affichage de la fenêtre FCU correspondant aux valeurs cibles de vitesse verticale ou d'angle de trajectoire soit modifié au profit d'une expression non ambiguë dans les unités courantes;**

Elle recommande également que, dans la mesure du possible:

- **soient renforcés sur le PFD la différence des symbologies respectives associées aux références HDG-VS et TRK-FPA ainsi que la lisibilité et le pouvoir d'alerte des informations de vitesse verticale.**

44.2- Représentation des modes de pilotage automatique des avions de nouvelle génération

Dans le cadre de son analyse de cet accident, la commission a été amenée à constater des insuffisances dans l'efficacité de la présentation à l'équipage des différents modes actifs, des références utilisées, des actions en cours et des cibles poursuivies, pour les dispositifs de pilotage automatique, notamment dans le plan vertical. Tout particulièrement, la commission a estimé que l'ensemble des informations présentées ne comportait pas un pouvoir d'alerte élevé pour un équipage qui a une représentation mentale instantanée erronée concernant l'état de ces automatismes.

Or en pratique, bon nombre des observations faites par la commission valent à un degré ou un autre pour l'ensemble des avions de nouvelle génération, qui utilisent globalement, ne serait-ce que pour des raisons de standardisation, les mêmes techniques d'affichage de l'information, la même répartition de l'information, les mêmes principes ergonomiques (ex: signalisation des modes par un affichage alphanumérique de petite taille, qui exige une lecture en vision centrale et un décodage cognitif de niveau élevé). La commission a finalement l'impression que des ensembles symbologiques faiblement discriminatoires sont associés à des fonctions dont les actions et interactions sont complexes.

En conséquence la commission recommande que pour l'ensemble des avions de nouvelle génération:

- **une réflexion soit engagée par les autorités et organismes compétents en vue d'améliorer, de manière standardisée au plan international, la présentation et la symbologie des affichages et des informations relatives aux différents modes de pilotage automatique actifs, notamment dans le plan vertical.**

44.3 - Rééquilibrage des informations horizontales et verticales

L'analyse a amené la commission d'enquête à constater une forte focalisation de l'équipage sur la navigation latérale durant la phase d'approche intermédiaire, au détriment de la surveillance de la trajectoire verticale. La commission a analysé les facteurs conjoncturels susceptibles d'avoir provoqué cette focalisation. Elle a également retenu l'idée que la présentation même des informations de position sur les écrans cathodiques était de nature à favoriser ou à prolonger une telle focalisation.

La commission constate en effet que la richesse et le niveau de synthèse des informations présentées dans le plan horizontal sur l'écran de navigation (positionnement analogique direct par rapport à une carte du monde pertinent) n'a pas son équivalent dans le plan vertical (pas de représentation du profil planifié ni des contraintes de sécurité: altitudes de sécurité, obstacles déterminants, reliefs). Ce phénomène semble propre à tous les avions dotés d'une instrumentation à écrans cathodiques et notamment d'un FMS sans profil vertical.

En conséquence, la commission recommande :

- **que soient étudiés les moyens permettant de rétablir sur les avions de nouvelle génération un meilleur équilibre dans la présentation des informations de position horizontale et verticale en renforçant ces dernières (ex: représentation du profil vertical planifié, figuration topographique, figuration des altitudes de sécurité), et en développant les moyens annexes permettant d'accentuer la conscience de l'équipage vis à vis de sa situation verticale (ex : annonces automatiques de hauteurs significatives franchies en descente avant la phase d'approche finale).**

44.4 - Certification de l'ergonomie des postes de pilotage

En étudiant le processus de certification de l'A320 en ce qui concerne les aspects ergonomiques de l'interface avion-équipage, la commission a constaté que les autorités de certification concernées avaient établi des bases de certification comportant plusieurs conditions spéciales et moyens acceptables de conformité supplémentaires par rapport au règlement JAR 25 et ACJ 25. Elle a également constaté qu'un effort particulier avait été consacré aux évaluations correspondantes lors des essais en vol ou en simulateur effectués pour le compte de la certification.

Malgré cela, la commission a été amenée à considérer dans le cadre de son analyse de l'accident du F-GGED que certains aspects de la conception de l'ergonomie du FCU et de l'instrumentation de l'avion avaient constitué un facteur contributif au développement du mécanisme de l'accident, et que ce mécanisme était susceptible de se reproduire.

En conséquence, la commission d'enquête recommande :

- **qu'il soit procédé à l'étude des méthodes par lesquelles les constructeurs pourraient, le plus en amont possible dans le processus industriel, obtenir les meilleures informations sur les comportements probables des utilisateurs face aux novations susceptibles d'entraîner des conséquences importantes au plan ergonomique;**

- **que les autorités de certification entreprennent une révision du règlement de certification des avions de transport pour préciser les objectifs et les critères de certification concernant l'ergonomie des postes de pilotage (en particulier celle des interfaces entre l'équipage et les automatismes de haut niveau) et son impact sur la sécurité du vol, en prenant en compte les probabilités d'erreur humaine associées;**

- **que les moyens acceptables de démonstration de conformité associés préconisent des protocoles expérimentaux tenant compte des acquis les plus récents de l'ergonomie.**

44.5 - Recommandations concernant les systèmes de pilotage automatique

En septembre 1992, un dysfonctionnement d'un FCU a été identifié. Il se caractérisait par la corruption, lors de son transfert au calculateur du pilote automatique (FMGC), d'une valeur de consigne affichée au FCU. Les autorités françaises de certification ont informé les exploitants d'A320 français ainsi que les autorités de tutelle des exploitants étrangers en leur demandant de mettre en garde leurs équipages contre le risque de tels dysfonctionnements, et de définir une procédure opérationnelle adaptée. Du point de vue technique, des mesures ont également été prises, qui ont consisté à accroître la sévérité des tests de réception des composants électroniques incriminés, et à définir une nouvelle version de FCU fabriquée avec des composants plus résistants.

La commission a analysé ce cas de corruption de valeur cible affichée au FCU, et a considéré qu'un tel scénario était très peu probable dans le cas de l'accident.

Cependant, en rapprochant une telle hypothèse des circonstances de l'accident, et plus généralement du contexte d'une approche "classique", la commission s'est interrogée, dans le cadre des critères de certification appliqués, sur la probabilité de non détection par l'équipage de pannes non auto-surveillées du pilote automatique en approche.

En conséquence, la commission d'enquête recommande pour les critère de certification des pilotes automatiques que, dans l'environnement opérationnel des approches dites "classiques",

- **soient réévaluées les probabilités d'occurrence des pannes d'un mode vertical de pilotage automatique, non détectées par le système, ainsi que leurs probabilités et délais de détection et correction par l'équipage, notamment en situation dynamique;**

- **que soient réévaluées les répercussions de telles pannes non détectées ou non corrigées par l'équipage en phase d'approche finale, et que soit vérifiée la cohérence de leurs effets ainsi estimés avec le niveau de risque pris en compte dans le processus de certification.**

44.6 - Contrôle de qualité des logiciels du DME Collins-700-020

Dans le cadre de l'enquête relative à l'accident du F-GGED, la commission a fait procéder à l'examen des mémoires non volatiles des deux équipements de mesure de distance (DME) Collins-700-020 de l'avion. L'hypothèse d'occurrence d'un des modes de dysfonctionnement connus à ce jour sur ces équipements a pu être réfutée à partir des éléments techniques disponibles.

Toutefois cet examen a mis en évidence des anomalies qui auraient pu être évitées par application de procédures de vérification et de test des logiciels telles que celles décrites par les normes RTCA DO 178 A et EUROCAE ED 12 A.

A la suite des constats effectués sur le logiciel en cause, le Bureau Enquêtes-Accidents a recommandé que "les moyens jugés nécessaires soient mis en place pour éliminer les défauts du DME Collins-700-020". Les autorités de certification française et américaine ont engagé une procédure de contrôle de qualité. Les premières conclusions de ce contrôle ont confirmé les insuffisances de ce logiciel et la nécessité de les pallier. Elles ont été communiquées à l'équipementier qui s'est engagé à définir les corrections nécessaires avant la fin de l'année 1993.

Parallèlement, l'autorité de certification française a rendu obligatoire l'application à tous les appareils inscrits sur le registre français, des modifications préconisées par l'équipementier pour corriger les défauts identifiés de ces équipements. L'autorité de certification américaine a engagé de son côté un processus identique.

La commission prend acte des mesures prises et ne formule pas de recommandation complémentaire.

CHAPITRE 4.5 - RECOMMANDATIONS RELATIVES A LA SURVIE

45.1 - Certification et utilisation des ceintures de sécurité

La commission a constaté que les lésions subies par les victimes avaient été causées dans un grand nombre

de cas par le choc contre le dossier du siège placé devant chaque passager ou par sa ceinture de sécurité.

Les règlements de certification prévoient que dans des conditions de décélération spécifiées (celles d'un crash mineur), les sièges et les ceintures de sécurité doivent être tels que leurs occupants ne souffrent d'aucune blessure grave.

La commission est consciente que les contraintes subies lors de l'impact ont été largement supérieures aux contraintes envisagées par le règlement de certification. Toutefois la présence de survivants suggère que des enseignements puissent être malgré tout tirés de cet accident. En particulier, la nature des lésions subies par les victimes a amené la commission à s'interroger sur l'intérêt du harnais de sécurité.

Elle a noté que de nouvelles exigences réglementaires avaient été introduites depuis la certification de l'A320, pour renforcer la protection des passagers en cas d'atterrissage d'urgence. Cependant elles ne prévoient pas d'obligation d'emploi de harnais de sécurité.

En conséquence, la commission recommande:

- **que les études d'amélioration des exigences réglementaires dans le domaine de la protection des passagers en cas d'atterrissage d'urgence soient poursuivies et que soit notamment étudié l'intérêt d'une obligation d'emploi de harnais de sécurité.**

45.2 - Conditions d'installation de la RBDA

L'enquête a montré que la RBDA avait été détruite à l'impact et que cet équipement n'avait en conséquence pu jouer aucun rôle dans la recherche de l'épave qui s'est révélée longue et difficile, contrairement aux idées communément admises vis-à-vis d'un accident de gros avion de transport.

L'enquête a également montré que les conditions d'homologation et d'installation de cet équipement en vigueur le jour de l'accident ne correspondaient pas aux exigences habituelles en transport public et devaient être renforcées. C'est pourquoi la commission a présenté au Ministre dès le 20 février 1992 une recommandation préliminaire sur ce point.

La commission constate que cette recommandation a été suivie d'effet et que les conditions d'homologation et d'installation de cet équipement ont été modifiées par arrêté du 12 janvier 1993. Elle note toutefois que les méthodes de vérification de la conformité des installations à cette réglementation modifiée n'ont pas encore été mises à jour dans les documents SFACT et STNA pertinents et que, notamment, les conditions de vérification de la puissance rayonnée ne sont pas précisées.

En conséquence, la commission recommande :

- **que les méthodes de vérification de la conformité des installations RBDA avec la nouvelle réglementation soient mises à jour dans les documents pertinents du SFACT et du STNA et qu'y soient notamment précisées les exigences et les conditions de mesure de la puissance rayonnée.**

Par ailleurs, le renforcement des performances de résistance et de rayonnement des balises de détresse n'a de sens que si les organismes de recherche sont dotés des moyens nécessaires à leur utilisation. Il est important à cet égard que soit pleinement utilisée la complémentarité des méthodes de repérage disponibles: radiogoniométrie terrestre (radio-amateurs), repérage par satellite, mais également radiogoniométrie aérienne.

En conséquence la commission recommande:

- **qu'il soit procédé à un inventaire et à une réévaluation éventuelle des moyens aériens utilisables par les RCC de façon à ce que ces organismes puissent mettre en oeuvre, dans la demi-heure qui suit le déclenchement d'une phase DETRESFA, un moyen aérien équipé d'un détecteur radioélectrique et capable d'opérer de jour et de nuit.**

45.3 - Organisation des recherches

L'analyse a mis en lumière un certain nombre d'imperfections dans les dispositifs de recherches préétablis, auxquelles la commission pense qu'il serait nécessaire de remédier.

En conséquence, la commission recommande :

- **que soit étudiés et mis en oeuvre des systèmes et des procédures de restitution rapide des trajectoires radar et des radio-communications enregistrées dans les organismes de contrôle civils et militaires, afin que ces éléments puissent être communiqués au RCC compétent dans la demi-heure qui suit le déclenchement d'une phase d'urgence;**

- **que des directives soient établies pour qu'il soit procédé à un réexamen de tous les plans SATER en vigueur, compte-tenu des enseignements tirés de cet accident et en particulier sur les points suivants :**

  . modalités de mise en place et de montée en puissance du PC opérationnel;

  . modalités d'engagement des effectifs sur le

  terrain;

  . remontée des informations du terrain vers le PC fixe et vers le RCC.

45.4 - Organisation des secours

La commission constate que les équipes médicales spécialisées dans le secours (SAMU) ne sont en fait pas intervenues sur le site. Les interventions médicalisées ont été le fait, soit d'équipes militaires rodées à intervenir sur le terrain, soit de médecins civils, les unes et les autres en dehors de tout cadre organisé. La commission s'est également interrogée sur les conditions d'évacuation de certains blessés graves, notamment vis à vis de leur traitement primaire sur le site avant évacuation. La commission n'a pas été en mesure de conclure sur ce point, mais il lui a semblé que certaines améliorations du dispositif de secours devraient être étudiées.

En conséquence, la commission recommande :

- **que les directives appropriées soient établies pour qu'il soit procédé à une révision des Plans Rouge, compte tenu des enseignements tirés de cet accident et en particulier sur les points suivants:**

  . constitution immédiate et envoi rapide dans le polygone de recherche puis sur les lieux de l'accident d'un premier échelon médical spécialisé dans le secours et le traitement des polytraumatismes;

  . renforcement de la coordination entre la direction des recherches, la direction des secours et la direction médicale des secours;

- **qu'il soit procédé à une vérification, et éventuellement à une mise à jour, des programmes de formation et des consignes opérationnelles données aux personnels d'intervention et de secours, en ce qui concerne les conditions de soins et d'évacuation à donner à des blessés graves sur le site d'un accident.**

45.5 - Organisation de la communication et contrôle d'accès au site de l'accident

La commission a relevé que les difficultés de circulation sur les routes d'accès au Mont Saint-Odile, si elles ne paraissent pas avoir ralenti les opérations de recherche, ont constitué une gêne certaine pour les opérations de secours. Elle a noté que ces difficultés pouvaient provenir des modalités de gestion de la communication

sur l'accident et des conditions de mise en place des mesures de contrôle d'accès au site. A contrario, la participation des organes de communication et du public peut être parfois demandée pendant la phase de recherche. C'est un sujet difficile pour lequel n'existe pas de dispositions particulières dans les plans préétablis.

En conséquence, la commission recommande :

- **qu'une réflexion soit engagée avec le concours des professionnels de la communication sur les modalités de gestion de la communication en cas d'accident;**

- **que les principes de mise en place des mesures de contrôle d'accès au site d'un accident ou à la zone des recherches soient étudiés par les services compétents et soient, le cas échéant, inclus dans les plans appropriés.**

4.6 - RECOMMANDATIONS RELATIVES AUX PROCEDURES DE CIRCULATION AERIENNE

46.1 - Procédures d'approche dérogatoires

La procédure VOR DME 05 en vigueur à Strasbourg à l'époque de l'accident comporte trois caractéristiques dérogatoires aux termes de l'Instruction N°20754/DNA du 12 octobre 1982 relative à l'établissement des procédures de départ, d'attente et d'approche aux instruments.

L'examen des conditions dans lesquelles s'est déroulée l'approche a montré que l'appareil est sorti du virage de procédure en aval du repère d'approche intermédiaire et qu'en conséquence ce segment ménagé pour permettre la réduction de la vitesse de l'avion et sa mise en configuration pour l'approche finale a été tronqué.

En toute rigueur donc, l'appareil n'ayant pas emprunté la totalité du segment d'approche intermédiaire, les caractéristiques dérogatoires de ce segment n'ont pas lieu d'être réexaminés.

Pourtant, la rapidité avec laquelle ont été réalisées les actions nécessaires à la préparation de l'avion en fin de virage de procédure, aurait probablement pu être tempérée par l'exécution d'un palier après sortie du virage.

Ceci suggère que l'existence d'un palier en approche intermédiaire est, en termes de sécurité, un élément important dans la définition d'une procédure d'approche VOR DME.

En conséquence, la commission recommande:

- **que les services de la circulation aérienne réexaminent toutes les dérogations accordées lors de l'établissement des procédures d'approche, notamment en cas d'absence de palier sur le tronçon d'approche intermédiaire;**

- **que, dans le cas où aucune solution non dérogatoire n'est possible, ces services veillent à informer les usagers de l'existence d'une procédure dérogatoire et des caractéristiques de la dérogation accordée;**

- **que les exploitants et les services de la circulation aérienne veillent, chacun en ce qui le concerne, à informer de façon appropriée les équipages et les contrôleurs de la circulation aérienne de l'existence et des caractéristiques de telles dérogations.**

46.2 - Information des équipages relative à la conduite du vol lors de la mise en descente en approche

L'examen des circonstances dans lesquelles a été commandée la mise en descente montre que l'appareil se trouvait alors à environ 10° de l'axe d'approche. La commission n'a pas retenu ce fait comme pouvant être à l'origine de la collision du FGGED avec le relief, mais souhaite mettre l'accent sur l'importance qu'il revêt en termes de sécurité de la conduite du vol.

En effet, du fait du principe de protection d'une approche VOR DME, le document 8168 de l'OACI préconise que la descente sur la trajectoire de rapprochement ne soit pas engagée tant que la déviation de l'aiguille de l'indicateur VOR est supérieure à la moitié de l'échelle, ce qui correspond à une déviation de 5°.

Il n'existe pas de réglementation stipulant explicitement les consignes de pilotage applicables dans l'exécution d'une procédure d'approche aux instruments. En France, les textes relatifs à l'établissement et à l'utilisation des procédures d'approche aux instruments sont l'Instruction N°20754/DNA et le "Mémento à l'usage des utilisateurs des procédures d'approche et de départ aux instruments". Ce second document a essentiellement pour but de présenter aux utilisateurs les principes de base et les hypothèses retenus pour la construction des procédures, de manière à en dégager certaines règles d'exécution des manoeuvres à effectuer. Il en ressort notamment des tolérances de pilotage dont le respect garantit le maintien de la trajectoire de l'avion dans le volume de protection de l'approche.

En conséquence, la commission recommande :

- **que les organismes de formation et les exploitants s'assurent que les méthodes de pilotage adoptées soient compatibles avec les seuils de tolérances de pilotage pris en compte dans l'Instruction N°20754/DNA relative à l'établissement des procédures de départ, d'attente et d'approche aux instruments.**

46.3 - Formation au guidage radar et à la phraséologie associée

Le contrôle d'approche de Strasbourg a fourni un guidage radar à l'équipage du F-GGED sur une portion de son approche VOR DME. L'examen de ce guidage et de la phraséologie utilisée par le contrôleur a montré que d'une part ce guidage n'avait pas permis à l'équipage de passer à la verticale du repère d'approche intermédiaire et que d'autre part, à plusieurs reprises, les informations de position n'étaient pas formulées conformément à la phraséologie réglementaire et pouvaient poser des problèmes d'interprétation.

L'analyse faite au § 22.6 montre que les instructions de route fournies à l'équipage dans le cadre du guidage radar ont contribué à écourter le segment d'approche intermédiaire prévu dans la définition de la procédure d'approche pour la préparation de l'avion à l'approche finale. Elles ont également pu contribuer aux difficultés de capture de l'axe d'approche qu'il a éprouvées. Ceci a pu influer sur le comportement de l'équipage et l'inciter, au moins momentanément, à une précipitation dans l'exécution des commandes nécessaires à la préparation de l'avion et à la mise en descente.

La commission note que l'évolution de la réglementation relative au guidage radar en approche traite cet aspect en garantissant à priori l'exécution d'un palier avant la mise en descente pour l'approche finale. Le RCA 3-121 daté du 16 mars 1992 et applicable à partir du 2 avril 1992 stipule entre autres critères que "le guidage fourni doit permettre aux aéronefs d'effectuer sur l'axe un palier d'au moins 30 secondes avant d'intercepter le plan de descente nominal".

En ce qui concerne la phraséologie employée pour informer les équipages de leur position radar, l'arrêté du 7 septembre 1984 précise la formulation qui doit être employée. Bien que l'analyse faite au § 22.6 n'ait pas mis en relief une interprétation erronée de la part de l'équipage, la commission estime qu'un effort particulier de rigueur dans la phraséologie utilisée est nécessaire.

En conséquence, la commission recommande :

- **que les services de la circulation aérienne consacrent un effort particulier à la formation des personnels du contrôle de la circulation aérienne et à leur entraînement aux procédures et à la phraséologie à utiliser lors de la fourniture d'un guidage radar;**

- **que ces services vérifient que la phraséologie réglementaire associée au guidage radar d'un avion vers l'axe d'approche finale est d'une part cohérente avec les principes établis par la nouvelle réglementation, et d'autre part exempte de toute ambiguïté, notamment pour l'équipage;**

- **que l'utilisation de termes tels que "travers droit" ou "travers gauche" pour indiquer à un équipage sa position par rapport à un repère soit éliminée de la pratique.**

46.4 - Contenu et mise à jour des messages ATIS

Pour préparer son arrivée à Strasbourg, l'équipage du F-GGED a utilisé les informations diffusées par l'ATIS de Strasbourg (ATIS : Service automatique d'information de région terminale).

A l'époque de l'accident, les consignes d'exploitation de l'ATIS figuraient dans l'Instruction N°10140/DNA du 28 février 1984.

L'examen du contenu des messages reçus par l'équipage et des heures auxquelles ces messages ont été diffusés montre d'une part que le message Novembre enregistré à 16h était encore diffusé à 17h56, et d'autre part que la procédure d'approche à prévoir n'était pas indiquée.

En ce qui concerne le premier point, l'instruction en vigueur à l'époque de l'accident stipulait que "dans tous les cas, un renouvellement horaire minimum du message ATIS est impératif afin de garantir la crédibilité de l'information. En tout état de cause, tout message datant de plus d'une heure devra être considéré comme périmé et ne devra plus être diffusé". Le renouvellement de l'ATIS n'a donc pas été effectué selon les dispositions de la réglementation en vigueur.

En ce qui concerne le second point évoqué, la réglementation applicable à l'époque de l'accident ne prévoyait pas que soit indiquée la procédure d'approche à prévoir. Or l'analyse effectuée au § 22.62 montre que le fait d'informer l'équipage de la procédure à prévoir aurait très probablement clarifié la situation. La commission d'enquête note que l'évolution de la réglementation apporte une solution à ce problème en intégrant dans la liste des éléments du message ATIS le type d'approche à prévoir (voir l'instruction N° 10120/DNA, et le RCA 3.76 du 16 mars 1992).

En conséquence, la commission recommande :

- **qu'un effort particulier soit fait par les services de la circulation aérienne pour que l'exploitation de l'ATIS soit assurée conformément à la réglementation.**

46.5 - Identification des procédures d'arrivée

L'analyse faite au § 22.62 montre qu'en l'absence de précision concernant le trajet d'arrivée à suivre, plusieurs possibilités pouvaient être envisagées par l'équipage du F-GGED. En effet, la formule "arrivée standard à Strasbourg" utilisée par le contrôleur du centre régional de la navigation aérienne n'apportait pas l'information qui aurait probablement contribué à clarifier la situation.

A l'époque de l'accident le seul moyen d'informer précisément l'équipage aurait consisté en l'énumération des points du trajet à suivre.

L'examen des cartes des procédures d'arrivée à Strasbourg montre que depuis le 25 juin 1992 les trajets d'arrivée sont nommés. Ceci apporte une solution au problème posé.

En conséquence, la commission recommande :

- **que les services de la circulation aérienne s'assurent que tous les trajets de départ et d'arrivée en région terminale de contrôle sont désignés et publiés conformément aux recommandations de l'OACI et que ces désignations sont utilisées lors de la délivrance des clairances.**

CHAPITRE 4.7 - RECOMMANDATION RELATIVE A L'EXERCICE DE LA TUTELLE DE L'ETAT

Dans son analyse du contexte d'exploitation du F-GGED, la commission a été amenée à constater la faiblesse du contrôle effectué par les services concernés de la DGAC sur l'application de la réglementation opérationnelle et le niveau professionnel des équipages en ce qui concerne Air Inter. Ce constat, qui peut

probablement être étendu aux autres grandes compagnies, tient tant à des raisons structurelles qu'à des problèmes de moyens. Il est préoccupant puisque de ce fait les dérives éventuelles sont mal mises en évidence.

En conséquence, la commission d'enquête recommande :

- **que soient définies et appliquées des modalités et une périodicité pour l'inspection, le contrôle d'exploitation et le contrôle en vol des grandes compagnies aériennes;**

- **qu'il soit procédé à une réévaluation des moyens consacrés par la DGAC à cette mission et à la mise en place de procédures d'utilisation de ces moyens, afin que tous les services compétents soient en mesure d'effectuer les contrôles nécessaires à une fréquence adaptée.**

CHAPITRE 4.8 - RECOMMANDATIONS RELATIVES AU RETOUR D'EXPERIENCE

48.1- Réorganisation du dispositif réglementaire français de traitement des incidents

Dans le cours de ses recherches concernant de possibles incidents analogues aux scénarios explorés par l'enquête, la commission s'est rendu compte des limites évidentes du système actuel de retour d'expérience tant au plan international que national. En examinant en particulier le dispositif réglementaire français de traitement des incidents, elle a estimé que son organisation et ses moyens actuels n'en permettaient pas un fonctionnement efficace.

En conséquence la commission recommande:

- **que le dispositif réglementaire français et les procédures de traitement des incidents soient refondus dans le but d'organiser plus efficacement le retour d'expérience pour les besoins de la sécurité aérienne, notamment pour ce qui est des incidents de nature opérationnelle.**

48.2 - Systèmes d'analyse systématique des paramètres de vol enregistrés

Dans le cours de ses recherches concernant de possibles incidents analogues aux scénarios explorés par l'enquête, la commission s'est rendu compte que seuls les systèmes d'analyse systématique des paramètres de vol enregistrés étaient à la fois en mesure de détecter certaines anomalies de déroulement du vol non perçues par l'équipage, et en mesure de fournir les éléments d'une investigation suffisamment précise et approfondie pour permettre la compréhension de l'incident. La commission a cependant noté que ce résultat n'était possible que sous la double condition que toute anomalie importante fasse l'objet d'une analyse opérationnelle, et que le système ne soit pas fermé vis à vis de l'extérieur de la compagnie concernée.

En conséquence la commission recommande:

- **qu'au plan national et international les autorités de l'aviation civile prennent, vis à vis des exploitants de transport aérien public relevant de leur autorité, des dispositions visant à:**

  . étendre la pratique d'une analyse systématique par l'exploitant des paramètres de vol enregistrés;

  . systématiser une analyse approfondie, notamment au plan opérationnel, par un service spécialisé de l'exploitant, des anomalies importantes ainsi détectées;

  . organiser sous des formes appropriées, en respectant notamment les contraintes de confidentialité des informations et d'anonymat, la communication des résultats de ces analyses aux autorités de tutelle, au constructeur, et aux autres exploitants.

ANNEXE 0 : Glossaire

ACARS	: Aircraft Communication Adressing and Reporting System ,Système permettant l'échange d'information sous forme digitale entre l'avion et le sol.
ADIRS	: Air Data Inertial Reference System.
AFS	: Auto Flight System.
ALT	: Altitude
AP	: Auto-pilot (Pilote Automatique)
APU	: Auxilliary power unit ,Groupe auxiliaire de puissance
ARPT	: Airport
ATA	: Nomenclature
ATIS	: Automatic terminal information service,Service automatique d'information de région terminale
ATC	: Air Traffic Control
A/THR	: Auto-thrust (auto poussée)
AWY	: Airway
BITE	: Built-In Test Equipment
CFDIU	: Centralized Fault Data Interface Unit
CLA	: Contrôle Local d'Aérodrome
CMD	: Commande (N1 CMD : N1 Commandé)
CORTE	: Company Route
COST INDEX	: Le cost index est le ratio du coût de 1' heure de vol et du coût du carburant, et c'est le paramètre essentiel du calcul par le FMGS de la vitesse qui sera adoptée par l'avion en mode managé. Un cost index plus élevé conduit à une vitesse managé plus élevée. La valeur du cost index est propre à chaque compagnie, et à chaque route. Elle est contenue dans la data-base avec la CO-ROUTE, elle est modifiable en vol.
CPU	: Cabin Pressure Controller Unit
CRNA/Est	: Centre Régionale de la Navigation Aérienne Est, situé à Reims.
CRS	: Course
CRT	: Cathode Ray Tube
CVR	: Cockpit voice recorder, Enregistreur phonique

DDRMI	: Digital Distance and Radio Magnetic Indicator
DFDR	: Digital Flight Data Recorder , Enregistreur numérique des paramètres de vol
DIR TO	: Direct To
DMC	: Display Management Computer
DME	: Distance Measuring Equipement, Dipositif de mesure de distance
ECAM	: Electronic Centralized Aircraft Monitoring (sur avion Airbus)
EFIS	: Electronic Flight Instrument System
ELAC	: Elevator Aileron Computer
ENAC	: Ecole Nationale de l 'Aviation Civile, située à Toulouse
E/WD	: Engine/Warning Display
FAF	: Final Approach Fix
FCU	: Flight Control Unit
FD	: Flight Director
FL	: Flight level, Niveau de vol
FMA	: Flight Mode Annunciator
FMGC	: Flight Management Guidance Computer
FMGS	: Flight Management Guidance System
F/PLN	: Flight Plan
FPV	: Flight Path Vector
FWC	: Flight Warning Computer
GA	: Go Around
GPWS	: Ground Proximity Warning System
HDG	: Heading
hPa	: Hectopascal (Unité de mesure de la pression atmosphérique)
HUD	: Head Up Display

IAF	: Initial Approach Fix
IAS	: Indicated Airspeed
IDLE	: Régime Ralenti
IFR	: Instrument Flight Rules, Règles de vol aux instruments
ILS	: Instrument Landing System, Système d'atterrissage aux instruments
INIT	: Initialisation
IRS	: Inertial Reference System
KT	: Knot
MCDU	: Multifunction Control and Display Unit
MDA	: Minimum Descent Altitude
NDH	: Minimum Descent Height
METAR	: Message d'observation météorologique régulière pour l'aviation
MSA	: Minimum Saft Altitude
NAV	: Navigation
NAVAID	: Navigation Aid (VOR/DME)
ND	: Navigation Display
NM	: Nautical Mile
N1	: Pour le CMF56, ce paramètre est représentatif de la noussée du réacteur dans toutes les phases du vol.
PA	: Public Address
P/B	: Push-Button
PFD	: Primary Flight Display
PHR	: Plan Horizontal réglable
QAR	: Quick Access Recorder, Enregistreur de paramètres pour la maintenance
QFE	: Pression atmosphérique à l'altitude de l'aérodrome Atmospheric pressure at aerodrome elevation
QFU	: Direction Magnétique de la Piste, Magnetic orientation of runway

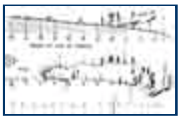
QNH	: Calage altimétrique requis pour lire une fois au sol l'altitude de l'aérodrome, Altimeter Setting to obtain aerodrome elevation when on the ground
RA	: Radio Altitude
RBDA	: Radiobalise de détresse à déclenchement automatique , ELBA : emercencY location beacon aircraft
RTE	: Route
RWY	: Runway
SC	: Single Chime
SD	: System Display
SEC	: Spoiler Elevator Computer Secondary
SID	: Standard Instrument Departure
SLT	: Slat
SPAR	: Slight precision approach radar, Radar léqer d'approche de précision
SPD	: Speed
SPLR	: Spoiler
STAR	: Standard Terminal Arrival Route
SYS	: System
TACAN	: Tactical air navigation aid, Système de navigation tactique (comprend une partie"mesure de distance " utilisée par l'Aviation Civile)
TAF	: Prévision météorologique d'atterrissage
TAS	: True Air Speed
TAT	: Total Air Temperature
THR	: Thrust
THS	: Trimmable Horizontal Stabilizer
TLA	: Thrust Lever Angle
TO	: Take off
TOGA	: Take off go around

TRK	: Track, Route
UTC	: Universal Time Coordinated , Temps universel coordonné
VBV	: Variable Bleed Valve , Vanne de décharge du compresseur basse pression(sur moteurs CFM 56)
VFE	: Maxi Velocity Flaps extended
VHF	: Very High Frequency
VOR	: VHF omnidirectional range , Radiophare omnidirectionnel VHF
VORTAC	: Combinaison VOR et TACAN
VREF	: Landing Reference Speed
V/S	: Vertical Speed
VSV	: Variable Stator Vane , Aube de stator à calage variable (sur moteurs CFM 56)

ANNEXE 1 : Localisation du site de l'accident

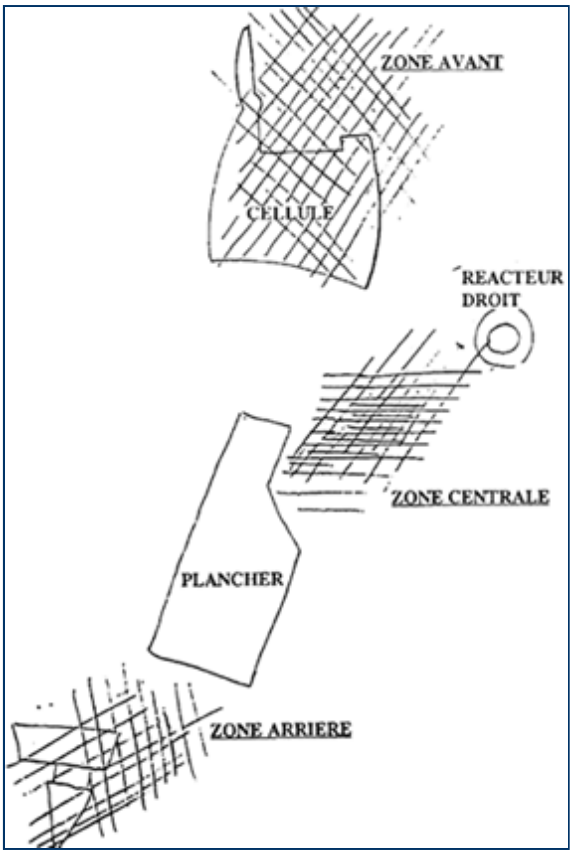
Télécharger le document PDF

ANNEXE 2 : Relevé topographique du site de l'accident

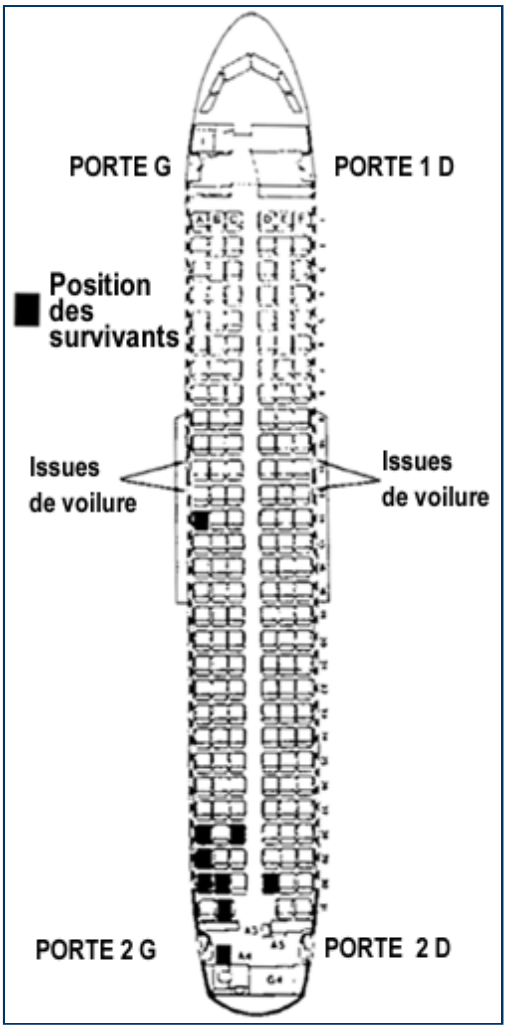
 Télécharger le document PDF

ANNEXE 3 : Plan de répartition de l'épave

ANNEXE 4 : Plan de répartition des 3 principaux foyers d'incendie

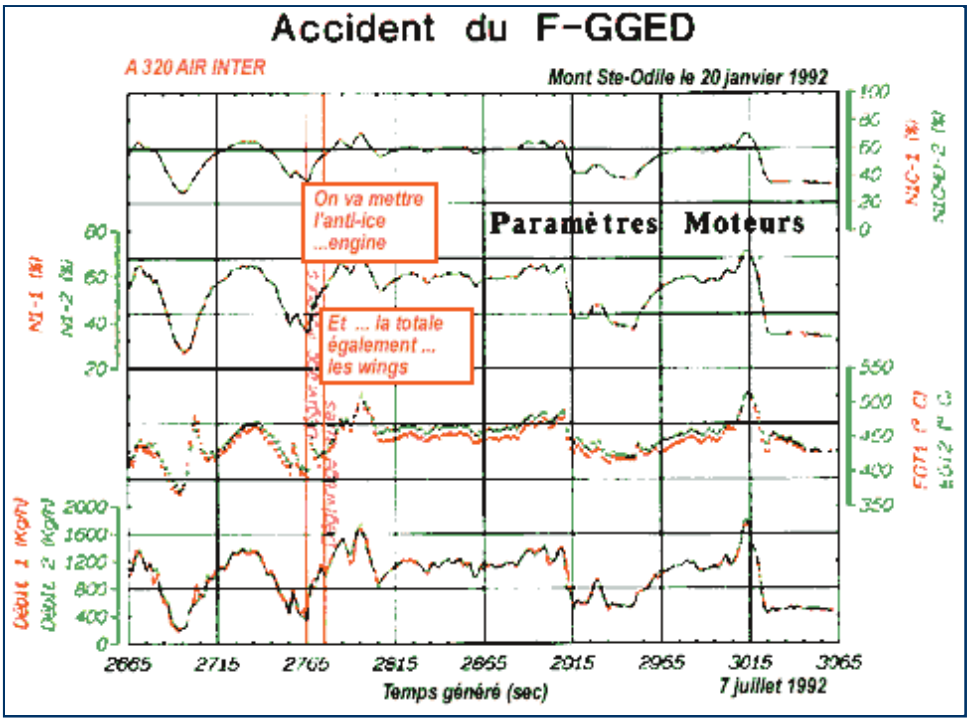


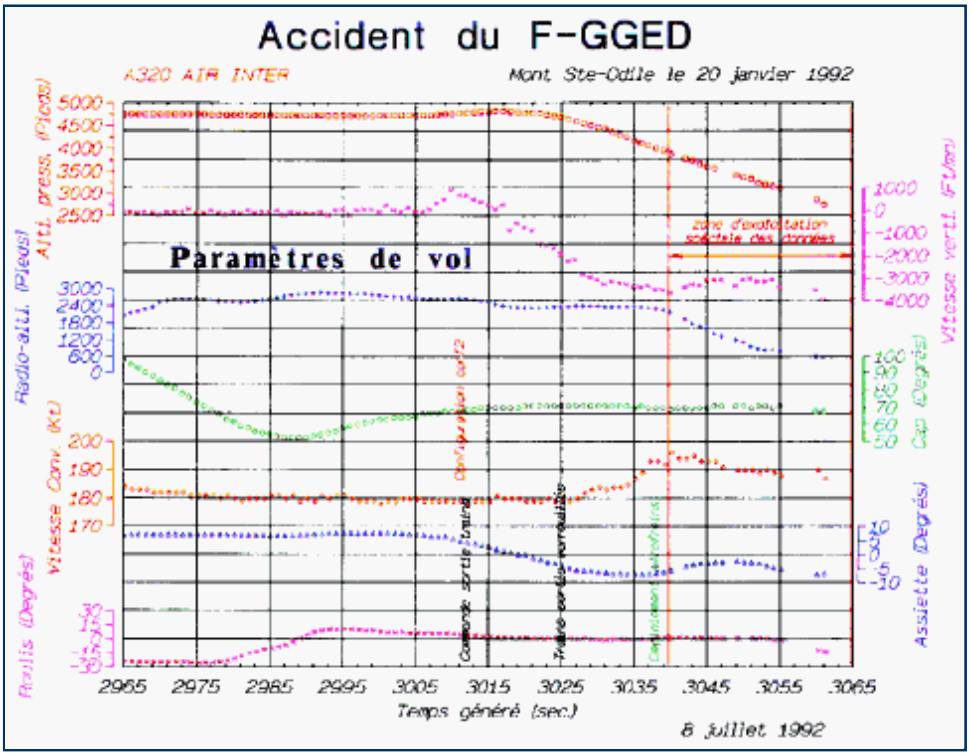
ANNEXE 5 : Plan de répartition à bord des survivants

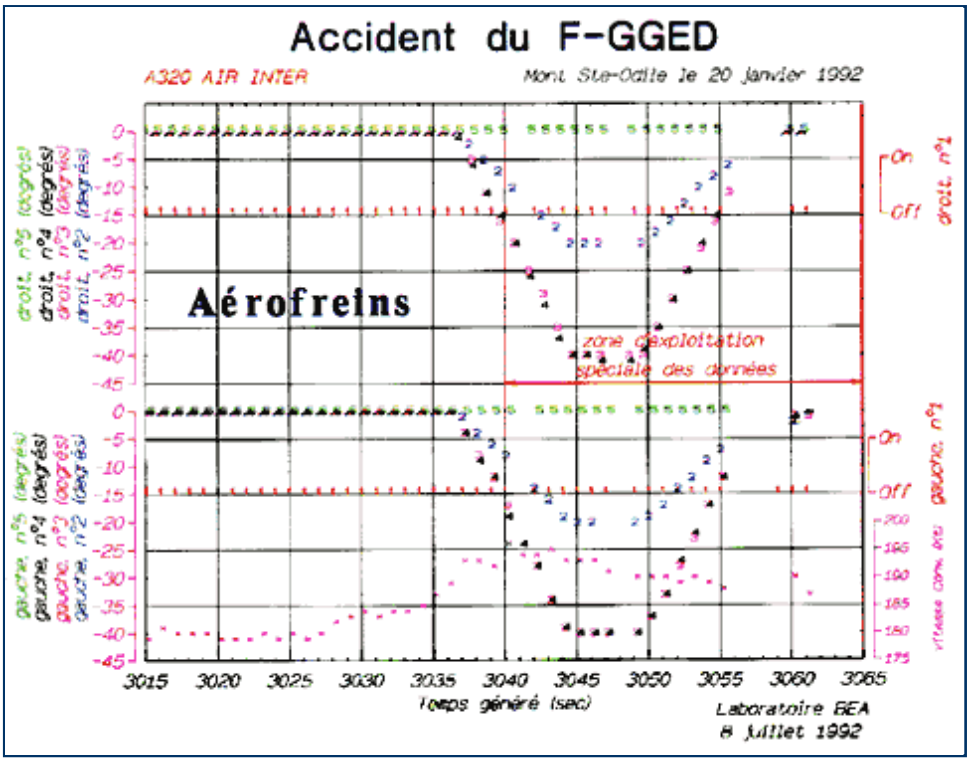


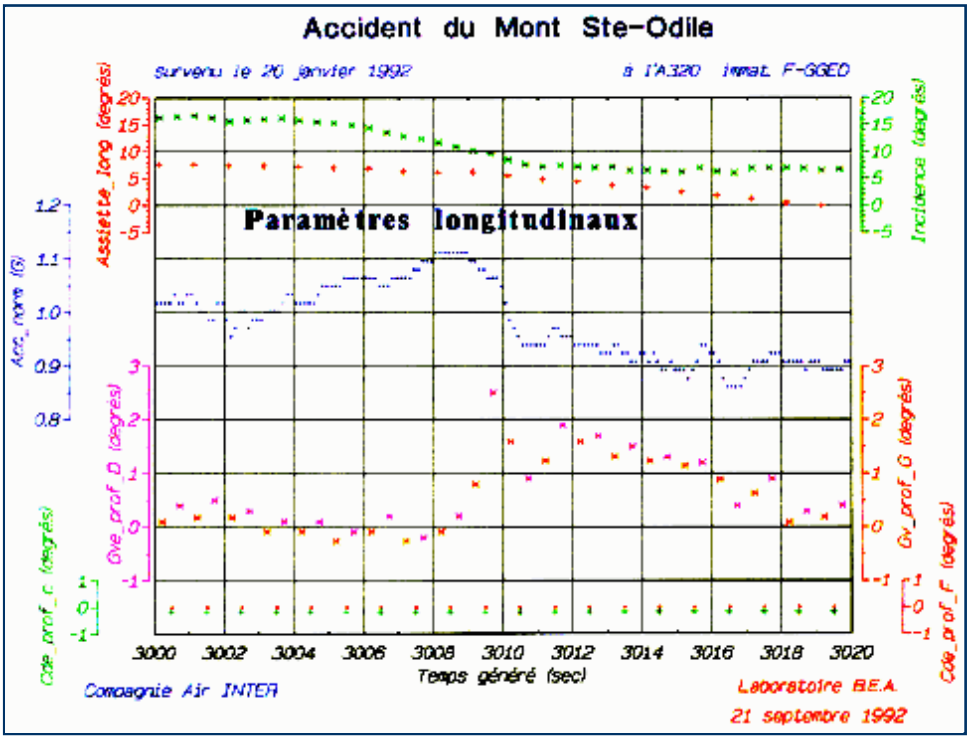
ANNEXE 6 : Cartes de procédures d'approche: 1.éditées par le SIA 2.utilisées par l'équipage

ANNEXE 7 : Graphiques de paramètres QAR


Accident du F-GGED
A 320 AIR INTER
Mont Ste-Odile le 20 janvier 1992
Paramètres Moteurs
On va mettre l'anti-ice ...engine
Et ... la totale également ... les wings
Temps généré (sec)
7 juillet 1992


Accident du F-GGED
A320 AIR INTER
Mont Ste-Odile le 20 janvier 1992
Paramètres de vol
Temps généré (sec)
6 juillet 1992





ANNEXE 8 : Extraits de la transcription du CVR TRANSCRIPTION DU CVR / évolution 3.2 du 08 juillet 1992

AVERTISSEMENT

Ce qui suit représente la transcription des éléments qui ont pu être compris, au jour de l'édition du présent rapport, par l'exploitation de l'enregistreur phonique (CVR). Cette transcription comprend les conversations entre les deux pilotes, ou entre les pilotes et l'équipage commercial, les messages de radiotéléphonie échangés entre l'équipage et les services du contrôle aérien, et des bruits divers correspondant par exemple à des manoeuvres de sélecteurs ou à des alarmes. Les parties de l'enregistrement non comprises ou restant douteuses sont indiquées par le symbole (*), avec mention le cas échéant du nombre de mots correspondants. Les échanges sans rapport avec la conduite du vol sont signalés comme tels et ne sont pas transcrits. Les mots ou groupes de mots notés entre parenthèses, ont nécessité pour leur compréhension des études spécifiques, et ne sont éventuellement identifiables qu'après un

nombre important d'écoutes. L'attention du lecteur est attirée sur le fait que la transcription d'un enregistrement de CVR ne constitue qu'un reflet partiel de la trace sonore des événements et de l'atmosphère passées d'un poste de pilotage. Cette trace est elle même déformée par la disparition de toute communication non verbale. En conséquence l'interprétation d'un tel document requiert la plus extrême prudence. Les communications enregistrées par le CVR, concernant les avions tiers ne sont pas transcrites. Les heures mentionnées ATC, sont basées sur les heures enregistrées par les contrôles local de Reims et Genève. Ces horloges possèdent un système automatique de synchronisation (FRANGIN). En revanche, l'heure du contrôle local de Strasbourg étant réglée manuellement, un recalage conforme à Reims et Genève a été effectué.

GLOSSAIRE

CAM	: Cockpit Area Microphone (microphone d'ambiance)
PF	: Pilote en Fonction (Commandant de bord pour ce vol)
PNF	: Pilote Non en Fonction (Copilote pour ce vol)
PUBLIC ADDRESS	: Messages de cabine
VHF1	: Radio affectée au PF, ici utilisée par le PNF
VHF2	: Radio affectée au PNF, ici utilisée pour les écoutes des fréquences ATIS et des indicatifs morse des radioba
(...)	: Mots ayant nécessité des écoutes et études spécifiques
(*)	: Mots douteux ou non compris
@	: Bruits divers, alarmes

t CVR / QAR (ATC)	CAM 1(PF)	CAM 2(PNF)	VOIE 1 (PUBLIC ADDRESS)	VOIE 2(VHF1)	VOIE 4(VHF2)
30'54 1211		Il est peu... il est peu avant Luxeuil. Si tu veux on a qu'a le prendre comme ça avant Luxeuil aussi.			
30'48 1217		Y'a vingt nautiques.. dix huit nautiques avant Luxeuil.			
30'44 1221		T'as (*) (2 mots)			
30'44 1221	Ouais ouais... je vais le prendre comme ça	(*) (4 mots)			
29'07 1318	C'est bizarre qu'il nous fasse pas monter... Il me semblait qu'avant on montait.				
29'03 1322		Ouais ! Avant on montait au cent quatre vingt dix ouais !			
28'49 1336		Laisse lui prendre ses trois cent quarante noeuds après tout !			
27'35 1410		T'enlève ton track FPA ?			

27'16 1429	On descendra à trente nautiques avant STR				
27'14 1431 (17.53.19)				Ctl : Air Inter one four eight Delta Alpha Contact Reims one two four niner five, goodbye.	
27'12 1433		Trente avant !			
27'06 1439	C'est pas pour nous ça, one two four nine five ?				
27'04 1441 (17.53.29)		You are calling for Delta Alpha ?		(IDEM CAM 2)	
27'01 1444 (17.53.32)				Ctl : Affirm one four eight Delta Alpha contact Reims one two four decimal niner five	
26'54 1451 (17.53.39)		With Reims one two four decimal niner five, thank you. bye		(IDEM CAM 2)	
26'50 1455 (17.53.43)				Ctl : Good bye !	
26'46 1459 (17.53.47)		Reims Air Inter Cent quarante huit Delta Alpha, bonsoir		(IDEM CAM 2)	
26'42 1463 (17.53.51)				Ctl : Air Inter Cent quarante huit Delta Alpha bonsoir. Procédez Luxeuil et arrivée standard pour Strasbourg	
26'36 1469 (17.53.57)		Luxeuil et standard sur Strasbourg		(IDEM CAM 2)	
26'23 1482		Tu veux quelque chose ?			
26'22 1483	Non non... c'est... Si tu demandes pas la météo, ils savent pas là.... on va prendre cinq minutes là... On va voir s'qu'ils donnent...	Ah !..			
24'02 1623	On a fait trente cinq minutes de vol tout à l'heure ?				

23'59 1626		Heu ... j'saurais plus t'dire			/..vent du zéro quarante pour dix huit noeuds, visibilité (*) kilomètres, cinq huitièmes à huit cent pieds, huit huitièmes à trois mille pieds, température deux degré, point de rosée un, QNH mille vingt et un, Fox Echo mille trois.Informez Strasbourg dés le premier contact que vous avez reçu l'information Novembre... Strasbourg good evening information November recorded at one six zero zero. Runway in use zero five, transition level five zero, wind zero four zero, one heigt knots, visibility ten kilometers, five octa at heigt ..euh.. hundred feet, heigt octa at three thousand feet, temperature two degrees due point one, QNH one zero two one, Fox Echo one double O three. Inform Strasbourg on initial contact that you have receive information November...Strasbourg bonjour information Novembre enregistrée à seize heures. Piste en service zéro cinq, niveau de transition cinquante, vent du zéro quarante pour dix huit noeuds visibilité dix kilomètres, cinq huitièmes à huit cent pieds, huit huitièmes à trois mille pieds../
23'51 1634	Hôt. : Vous voulez boire ou manger quelque chose ?				
23'47 1638	Non merci.				
23'45 1640		Quarante et une minutes.			
23'44 1641	Quarante et une minutes.				
23'42 1643	Hôt : Vous voulez boire ou manger quelque chose ?				
23'41 1644		J'aimerais bien mon plateau, manger un p'tit peu...			
23'26 1659		C'est la zéro cinq en service			
23'24 1661	La zéro cinq ? Qu'est-ce qu'ils passent comme vent ?				
23'00 1685	(*)				
22'24 1721	(mots sans rapport avec la conduite du vol)				
22'09 1736	Tu me passes notre météo ? Qu'est-ce qu'ils passent comme plafond là ?				
22'06 1739		Huit huitièmes à trois mille ! Il faudrait que je le reprenne			
22'05 1738	(mots sans rapport avec la conduite du vol)				
21'53 1752	Et un vent de zéro cinquante degrés pour dix noeuds ?				
21'50 1755		Dix huit noeuds.			
21'49 1756	Dix huit noeuds.. ah pas de chance				
21'48 1757	ouais ouais	J'vais la réécouter là... parce que... je te laisse l'ATC hein.			/..vent zéro quarante vingt noeuds rafale trente,visib dix kilomètres

21'18 1787		La zéro cinq dix kilomètres trois huitièmes à onze cent huit huitièmes à deux mille huit.... mille vingt trois, mille cinq			plafond trois huitièmes onze cent pied, six huitièmes deux mille six cent pied, tempé un, point de rosée zéro, QNH mille vingt trois, Fox Echo mille cinq,informez Strasbourg dés le premier contact que vous avez reçu l'information Oscar... Good evening Strasbourg information Oscar recorded at heigteen zoulou time, (*) runway zero five, transition level five zero, wind zero four zero (*) twenty gusting thirty visibility ten kilometers, ceiling three octa one thousand one hundred feet, six octa two thousand six hundred feet, tempé one, due point zero, Quebec November Hotel one zero two three.../
21'04 1801		Dix kilomètres de visi			
20'59 1806	Tu peux r'garder les minimas en zéro cinq c'qu'ils disent				
20'54 1811		Je regarde ça tout de suite La voilà.. c'est bon			
20'49 1815		(*)			
20'45 1819	(*)				
20'16 1849		Strasbourg VOR/DME zéro cinq... quatre cent dix pieds... et mille huit cent cinquante mètres			
20'01 1864	Est-ce qu'il y a une MVL dessus ?				
19'52 1873		MVL de nuit.. huit cent cinquante pieds... huit cent cinquante pieds et deux mille huit cent mètres			
19'41 1884	On essaiera en fonction du trafic de faire une percée ILS.				
19'37 1888	avec une ouverture à droite proposer une vent arrière, une vent arrière et une finale zéro cinq	Oui			
19'28 1897	Si on fait la procédure zéro cinq.. eh bien on... (sifflet)				
19'12 1913	T'as qu'à mettre les minimas de la MVL				
19'08 1917		C'est combien ?			
19'06 1919	Huit cent cinquante pieds				
19'04 1921		Huit cent cinquante...			

19'02 1923	M D H M D H				
18'59 1926		Ouais, ouais, MDH			
18'52 1933	Tu vois, je vais mettre la vingt trois, sinon j'pourrais pas faire la percée ILS, moi. J'remets la vingt trois hein ?				
18'44 1941		Tu mets la vingt trois ?			
18'43 1942	Oui ! Ca y est.. pour faire l'arrivée ILS				
18'41 1944		D'accord			
18'32 1953	Alors la sécurité, cinq mille deux cent pieds à partir de vingt cinq mille pieds jusqu'à vingt et un.. et quatre mille huit				
18'28 1957	jusqu'à neuf et quatre mille deux ensuite... Pour un ILS donc.. en vingt trois, axe deux cent trente et un, cent dix dix. Virage de procédure à deux mille pieds sol, la balise Sierra Echo, treize cents pieds	Oui oui			
18'12 1973	.. et en cas de remise de gaz si on n'y voit pas, on remonte dans l'axe, un nautique STR				
	(@) (@)				
17'54 1991	Un nautique après la verticale du VOR, on vire à droite pour inter- cepter le radial trois cent quarante neuf pour monter vers trois mille pieds, virer à droite et retour sur le circuit d'attente et montée à dix neuf cent pieds avant l'accélé ration... HARG... dix neuf cent pieds, minima et MVL huit cent cinquante pieds et quatre cent dix pieds si on fait une zéro cinq...euh..	 ..trois mille.			
	(@)				

17'22 2023	puisque que... le plafond autorise jusqu'à trois mille pieds...	D'accord			
17'14 2031		J'comprends pas pourquoi tu ne tentes pas quand même une zéro cinq VOR DME			
17'09 2036	Parce que la zéro cinq VOR DME, ilfaut arriver ici, partir... aller aux cent mille diables et revenir				
17'04 2041	Donc on aura aussi vite fait de...	Ah oui d'accord			
16'57 2048	Sinon, il faut s'éloigner à onze STR, ça fait onze ça fait vingt deux nautiques.. C'est parti pour dix minutes de vol en plus là hein	Ouais, faut faire un...			
16'42 2063	...c'est pour ça...que				
16'02 2103					(indicatif morse SE)
15'57 2108		Sierra Echo identifié			
15'28 2137	je t'ai mis l'axe retour sur STR hein... zéro cinquante				
15'24 2141		D'accord			
15'08 2157	On fera la procédure avant descente				
15'07 2158		Attends ..			
15'06 2159	C'est pas grave				
15'00 2165		J'suis prêt			
14'59 2166	Check list avant descente				
14'57 2168		ECAM Status vérifiés Speed Bugs			
14'55 2170	Ils sont réglés				
14'53 2172		Altimètre de secours			
14'51 2174	Mille vingt trois				
14'49 2176		Mille vingt trois, altimètre(*) vérifié Engine anti Ice			
14'46 2179	Sur OFF				
14'44 2181		FMGS paramètres insérés et les harnais			
14'40 2185	Agrafés				
14'38 2187		Check list terminée			

14'33 2192		On descend dans une minute C'est bon ?			
14'31 2194	Dans une minute et demie, deux minutes, on a le temps				
14'20 2205 (18.06.13)		Air Inter cent quarante huit Delta Alpha, on voudrait descendre dans une minute		(IDEM CAM 2)	
14'17 2208 (18.06.16)				ctl : Delta Alpha descendez niveau cent trente	
14'13 2212 (18.06.20)		Vers le cent trente, on descendra Delta Alpha		(IDEM CAM 2)	
14'10 2215 (18.06.23)				Ctl : Delta Alpha le cap sur ANDLO	
14'06 2219 (18.06.27)		Le cap sur ANDLO correct ?		(IDEM CAM 2)	
14'05 2220 (18.06.28)				Ctl : Affirm	
14'04 2221	Sur ?				
14'03 2222		ANDLO			
14'02 2223	ANDLO, oh là, ils me cassent les pieds avec leur truc là...				
13'44 2241 (18.06.49)				Ctl : Air Inter Delta Alpha ça vous fait quel cap sur ANDLO ?	
13'40 2245 (18.06.53)		On a le cap zéro cinquante trois sur ANDLO		(IDEM CAM 2)	
13'37 2248 (18.06.56)				Ctl : Delta Alpha, maintenez le cap zéro cinquante trois jusqu'à nouvel avis !	
13'33 2252 (18.07.00)		On maintient jusqu'à nouvel avis		(IDEM CAM 2)	
13'29 2256		Ah ! dis donc, Reims, leur contrôle là...			
13'24 2261		Tout ça parce qu'il en a un qu'y va sur Epinal			

13'13 2272 (18.07.20)				Ctl : Air inter Delta Alpha poursuivez la descente vers le niveau soixante dix	
13'08 2277 (18.07.25)		On poursuit la descente vers soicante dix, sept et zéro Delta Alpha		(IDEM CAM 2)	
13'06 2279	Voilà c'est parti Idle open				
13'03 2282		Idle open descent			
12'31 2314			Annonce PNC : Mesdames, Messieurs, nous commençons notre descente nous vous demandons de bien vouloir regagner votre siège. Merci !		
11'48 2357 (18.08.45)				Ctl : Air Inter Delta Alpha le niveau en descente	
11'44 2361 (18.08.49)		On croise cent cinquante en descente vers soixante dix Delta Alpha		(IDEM CAM 2)	
11'41 2364 (18.08.52)				Ctl : Delta Alpha reçu, plus de restriction de cap, contactez Strasbourg cent vingt point sept. Au revoir.	
11'36 2369 (18.08.57)		Plus de restriction de cap cent vingt sept, au revoir		(IDEM CAM 2)	
11'32 2373 (18.09.01)		Strasbourg Approche bonjour Air Inter cent quarante huit Delta Alpha		(IDEM CAM 2)	
11'28 2377 (18.09.05)				Ctl : Cent quarante huit Delta Alpha bonjour procédez sur ANDLO Votre distance ?	
11'23 2382	(*)(1 mot)				
11'23 2382 (18.09.10)		Oui ANDLO, et on est à vingt deux nautiques DME d'STR		(IDEM CAM 2)	

11'19 2386 (18.09.14)				Ctl : Reçu, vous poursuivez la descente vers cinq mille pieds au QNH mille vingt trois, rappelez ANDLO cinq mille pieds	
11'13 2392 (18.09.20)		Cinq mille pieds, mille vingt trois on rappelle ANDLO cinq mille		(IDEM CAM 2)	
11'08 2397		Voilà mille cinq..			
11'07 2398	Et soixante pour l'instant				
11'05 2400	La sécurité... vingt deux... eh ben ça passe.. cinq mille deux cents pieds.. vingt et un.. OK c'est bon				
10'54 2411		Cinq mille			
10'46 2419	Mille cinq.. on fera la procédure a dix mille ... l'approche initiale en même temps				
10'42 2423	Onze mille deux cents pieds				
10'40 2425		OK			
10'39 2426	TOP				
10'38 2427		Non. Onze mille cent pieds, mille cinq.. mille cinq %Q	Annonce PNC : Mesdames, Messieurs, nous continuons notre descente, nous vous demandons de bien vouloir attacher votre ceinture. Merci. Ladies and gentlemen we are continue our descent would you please fasten your seat belt. Thank you.		
10'31 2434	Oui c'est mille huit	non mille huit			
10'29 2436		Mille vingt trois ça fait mille cinq			
10'24 2441	Mille cinq ?				
10'24 2441 (18.10.09)		Pour Delta Alpha, vous confirmez Fox Echo mille cinq, zéro cinq correct ?		(IDEM CAM 2)	
10'18 2447 (18.10.15)				Ctl : Le Fox Echo est de mille cinq, zéro cinq et le QNH mille vingt	

				trois	
10'15 2450 (18.10.18)		Merci Monsieur Mille cinq Dix mille quatre cent..		(IDEM CAM 2)	
10'10 2455	Dix mille quatre cents pieds attention... TOP				
10'07 2458		C'est correct.. C'est bon			
10'03 2462		Check list approche initiale Baro ref altimètres			
09'58 2467	C'est réglé	réglés comparés Seatbelts ON Engine anti ice OFF pour l'instant.			
09'53 2472	Non	J'vais les mettre après... Marker sur écoute à droite Engine mode selector sur normal Check list terminée.			
08'52 2533	On passe ANDLO				
08'42 2543 (18.11.51)		On passe ANDLO, Air Inter Delta Alpha, niveau... euh pardon sept mille cinq cents pieds en descente		(IDEM CAM 2)	
08'38 2547 (18.11.55)				Ctl : Reçu cent quarante huit Delta Alpha vous êtes numéro un pour la VOR DME zéro cinq, rappelez passant le VOR en finale	
08'31 2554 (18.12.02)		Numéro un pour la VOR DME zéro cinq		(IDEM CAM 2)	
08'28 2557	(*)				
08'26 2559		On pourrait lui demander de confirmer le plafond maintenant combien de nautiques ?			
08'21 2564	Dix nautiques... Ca passe pas				
08'21 2564	Dis lui, on va faire un..	Oui, Maxi, maxi...			
08'17 2568 (18.12.16)		Confirmez le plafond Strasbourg ?		(IDEM CAM 2)	
08'15 2570 (18.12.18)				Ctl : euh.. actuellement on a trois huitièmes à mille cent pieds et	

				six huitièmes à deux mille six cents pieds	
08'08 2577	C'est bon				
08'08 2577 (18.12.25)		Ouais, on envisagerait de procéder Sierra Echo faire un ILS avec une indirecte pour la zéro cinq ensuite		(IDEM CAM 2)	
08'03 2582	(SINGLE CHIME)				
08'00 2585	clear, clear...				
07'55 2590 (18.12.38)				Ctl: Reçu Delta Alpha	
07'52 2593	Combien la température ?				
07'49 2596		La température...			
07'49 2596 (18.12.44)				Ctl : Delta Alpha, vous maintiendrez initialement cinq mille au QNH mille vingt trois et étant donné qu'on va avoir trois décollages en zéro cinq, vous risquez d'attendre dans le stack à cinq mille pieds.	
07'37 2608	On fera un retour et la procédure VOR DME.. alors..				
07'34 2611 (18.12.59)		On fera un retour avec la procédure VOR DME à ce moment là		(IDEM CAM 2)	
07'31 2614 (18.13.02)				Ctl : OK	
07'27 2618	On va pas s'amuser à descendre comme ça en India Mike s'ils avaient prévenu à l'avance, mais là, on arrive plein pot				
07'14 2631 (18.13.19)				Ctl : Delta Alpha euh.. Strasbourg	
07'10 2635 (18.13.23)		J'vous écoute		(IDEM CAM 2)	

07'09 2636 (18.13.24)				Ctl : Si vous voulez là je peux vous prendre au radar pour vous amener à ANDLO à cinq mille	
07'05 2640	Ah ouais, c'est bon!				
07'03 2642 (18.13.30)		Ah oui !		(IDEM CAM 2)	
07'02 2643 (18.13.31)				Ctl : OK ! alors soixante et un zéro zéro, virez par la gauche au cap deux cent trente	
06'56 2649 (18.13.37)		Soixante et un zéro zéro et cap deux cent trente par la gauche		(IDEM CAM 2)	
06'53 2652 (18.13.40)				Ctl : Voilà, ça vous fera gagner du temps !	
06'51 2654	Ouais, ouais...				
06'51 2654 (18.13.42)		Merci		(IDEM CAM 2)	
06'45 2660	J'te remets la zéro cinq				
06'37 2668 (18.13.56)				Ctl : Alors vous maintenez cinq mille en atteignant et jusqu'à ANDLO, le QNH est de mille vingt trois	
06'31 2674 (18.14.02)		QNH mille vingt trois, on maintient cinq mille		(IDEM CAM 2)	
05'57 2708	Alors les distances là.. euh.. ah oui là (*) verticale le deux cent cinquante en éloignement jusqu'à onze STR, on repasse par ANDLO sur l'axe et on libère à onze STR... quatre mille cinq cent pieds neuf STR, trois mille huit sept trois mille deux ; En cas de remise de gaz on remonte dans l'axe				

05'31 2734 (18.15.02)				Ctl : Delta Alpha, six nautiques radial deux cent quatre vingt dix de Strasbourg	
05'25 2740 (18.15.08)		Reçu Delta Alpha		(IDEM CAM 2)	
05'24 2741	La percée se fait sur zéro cinquante c'est un plan de trois virgule cinq euh cinq virgule cinq... ça fait... trois degrés trois.				
05'00 2765	On va mettre l'anti Ice... ..engine				
04'57 2768	(@) (@)				
04'50 2775	Et... la totale également...les wings (@)				
04'45 2780	L'arête de la machine n'a aucun détecteur de givrage...				
04'43 2782		Oui			
04'42 2783	Que dalle				
04'41 2784		Il est bel et moderne mais ça ça manque			
04'40 2785	Oui, oui.. y a de la glace dessus				
04'15 2810	C'est la merde hein quand t'es pas prêt le temps d'arriver à cinq mille pieds sur ANDLO plein pot ..euh.. ça passe pas hein.. En plus..à.. quoi... dix nautiques de la finale				
02'48 2897 (18.17.45)				Ctl : Air Inter Delta Alpha vous virez par la gauche un cap quatre vingt dix zéro neuf zéro	
02'41 2904 (18.17.52)		Cap quatre vingt dix, zéro neuf zéro par la gauche Delta Alpha		(IDEM CAM 2)	
02'20 2925	Les Flaps vers un				
02'19 2926		Flaps vers un			
02'18 2927	(@)				
02'05 2940		Flaps un			

02'00 2945 (18.18.33)				Ctl : Air Inter Delta Alpha poursuivez le virage à gauche pour vous établir sur le zéro cinquante et un, vous êtes à quatre nautiques d'ANDLO... travers gauche ANDLO	
01'53 2952	OK				
01'52 2953 (18.18.41)		Reçu, on rappelle établi sur le QDM zéro cinquante et un		(IDEM CAM 2)	
01'48 2957 (18.18.45)				Ctl : Affirm Monsieur	
01'36 2969		On va ...t'es intérieur là hein !			
01'22 2983		...t'es intérieur là hein ! Il aurait fallu qu'tu ouvres au zéro sept zéro			
01'20 2985	Ouais ouais				
01'18 2987		Au moins			
01'14 2991 (18.19.19)				Ctl : Air Inter Delta Alpha travers droit ANDLO, autorisé... à l'approche finale VOR DME zéro cinq	
01'09 2996 (18.19.24)		Delta Alpha		(IDEM CAM 2)	
01'07 2998	Flaps vers deux				
01'04 3001		Flaps vers deux			
00'56 3009		Flaps à deux			
00'55 3010	Gear down				
00'53 3012	(@)				
00'51 3014		J'prépare les phares sans les mettre hein			
00'46 3019 (18.19.47)				Ctl : Delta Alpha rappelez le V-O-R en finale	
00'43 3022	OK				
00'43 3022 (18.19.50)		Rappelle le VOR en finale	Annonce PNC : Mesdames, Messieurs, nous	(IDEM CAM 2)	

	(@)		allons atterrir dans quelques minutes pour votre sécurité veuillez vérifier que votre ceinture est bien attachée et relever la tablette de votre siège. Merci. Ladies and gentlemen, we shall be landing shortly, for your safety please make sure that your seat belt is fasten and your table is (*).		
00'27 3038		Nous devons l'passer huit cents pieds			
00'20 3045	(*) , (*)				
00'16 3049	(faut faire attention qu'il descende pas...)	Sur l'axe !			
00'11 3054		On arrive sur l'axe !... un demi point de l'axe. Là voilà, il a été au soixante c'est bon tu vois ici			
00'01 3064	Radiosonde : TWO HUNDRED				
00'00 3065 (18.20.33)	(IMPACT) FIN DE L'ENREGISTREMENT				

ANNEXE 9 : Transcription des radiocommunications ATC

TRANSCRIPTION ATC DE LYON
FREQUENCE SOL 121,8 MHZ

Heure UTC	DE	COMMUNICATIONS
17h28mn50s	DA Ctl DA Ctl DA	Satolas, Air Inter cent quarante huit Delta Alpha bonsoir. Delta Alpha bonsoir. Bravo douze, nous allons être prêts pour le push et la mise en route Strasbourg. Mettez en route, vous pouvez pousser, Delta Alpha. Reçu
17h33mn00s	DA Ctl DA Ctl DA Ctl	Pour rouler Air Inter Delta Alpha. Delta Alpha, pour la huit Bravo, roulez piste trente six, votre clearance On roule piste trente six, on vous écoute. Un départ Luxeuil un Novembre, niveau quatre vingt, transpondeur soixante sept zéro trois. Soixante sept zéro trois, en départ Luxeuil unité Novembre, le niveau quatre vingt, Air Inter Delta Alpha Affirm.
17h36mn15s	Ctl DA	Air Inter, contactez Satolas tour cent vingt zéro ; au revoir Cent vingt zéro, au revoir.

TRANSCRIPTION ATC DE LYON
FREQUENCE TOUR 120,00 MHZ

Heure UTC	DE	COMMUNICATIONS

17h37mn00s	DA Ctl DA	Satolas tour, bonsoir, Air Inter cent quarante huit Delta Alpha. Bonjour Delta Alpha, vous maintiendrez au stop, un appareil est en finale en catégorie deux Un appareil en finale catégorie deux, on maintiendra au stop, Air Inter Delta Alpha.
17h38mn00s	DA Ctl DA	On a visuel sur la finale qui vient de nous passer devant, Air Inter Delta Alpha. Air Inter Delta Alpha, alignez-vous et maintenez. On s'aligne et on maintient Delta Alpha.
17h38mn40s	Ctl DA	Air Inter Delta Alpha autorisé au décollage, le vent trois cent quarante, six noeuds. Trois cent quanrante, six noeuds, on s'aligne et décolle Air Inter Delta Alpha
17h40mn30s	Ctl DA Ctl DA	Air Inter Delta Alpha, vous avez branché soixante sept zéro trois ? Affirm, madame. Merci, contactez l'approche cent vingt huit cinq. Au revoir. Cent vingt huit cinq, au revoir.

TRANSCRIPTION ATC DE LYON
FREQUENCE APPROCHE 128,500 MHZ

Heure UTC	DE	COMMUNICATIONS
17h41mn00s	DA Ctl DA	Satolas approche, bonsoir, Air Inter cent quarante huit Delta Alpha. Cent quarante huit Delta Alpha, bonsoir, rappelez soixante vers quatre vingt. Soixante vers quatre vingt.
17h41mn55s	DA Ctl DA	Soixante vers quatre vingt, Air Inter Delta Alpha. Delta Alpha, contactez Marseille Contrôle cent vingt six sept, bonsoir. Cent vingt six sept, bonsoir.

TRANSCRIPTION ATC DE MARSEILLE
FREQUENCE 126,70 MHZ

Heure UTC	DE	COMMUNICATIONS
17h42mn20s	DA Ctl DA	Marseille, bonsoir, Air Inter Cent quarante huit Delta Alpha. Bonsoir, cent quarante huit Delta Alpha, contact radar, montez niveau cent quatre vingt, unité huit zéro. Huit zero Delta Alpha.
17h45mn40s	DA Ctl DA	Approche cent quatre vingt Air Inter Delta Alpha. Bien reçu Delta Alpha, maintenez cent quatre vingt, vous pouvez virer sur Luxeuil. Luxeuil actuellement et cap, on maintient cent quatre vingt.

17h48mn40s	Ctl DA Ctl	Air Inter Delta Alpha, contactez Genève cent vingt sept trois, bonsoir. Oui, Genève vingt six trois, au revoir. Cent vingt sept trois.

TRANSCRIPTION ATC DE GENEVE
FREQUENCE APPROCHE 127,3 MHZ

Heure UTC	DE	COMMUNICATIONS
17h49mn06s	DA	Genève, Air Inter one four eight Delta Alpha bonsoir.
17h49mn12s	Ctl	Delta Alpha good evening, identified, maintain flight level one eight zero, proceed BESIN.
17h49mn20s	DA	Oh..., we proceed heu fro., flight level one eight zero on heu BESIN.
17h53mn19s	Ctl	Air Inter one four eight Delta Alpha contact Reims one two four niner five, good-bye.
17h53mn29s	DA	You are calling heu for Delta Alpha ?
17h53mn32s	Ctl	Affirm, one four eight Delta Alpha contact Reims : one two four decimal niner five.
17h53mn39s	DA	With Reims, one two four decimal niner five, thank you good-bye!
17h53mn43s	Ctl	Good-bye!

TRANSCRIPTION ATC DE REIMS
FREQUENCE 124,95 MHZ

Heure UTC	DE	COMMUNICATIONS
17h53mn47s	DA	Reims, Air Inter cent quarante huit Delta Alpha bonsoir
17h53mn51s	Ctl	Air Inter cent quarante huit Delta, bonsoir, procédez Luxeuil et arrivée standard pour Strasbourg.
17h53mn57s	DA	Luxeuil et standard sur Strasbourg.
18h06mn13s	DA	Air Inter cent quarante huit Delta Alpha, on voudrait descendre dans une minute
18h06mn16s	Ctl	Delta Alpha descendez niveau cent trente
18h06mn20s	DA	Vers le cent trente on descendra Delta Alpha.
18h06mn23s	Ctl	Delta Alpha le cap sur ANDLO.
18h06mn27s	DA	Le cap sur ANDLO correct ?

18h06mn28s	Ctl	Affirm.
18h06mn49s	Ctl	Air Inter Delta Alpha ça vous fait quel cap sur ANDLO ?
18h06mn53s	DA	On a le cap zéro cinquante trois sur ANDLO.
18h06mn56s	Ctl	Delta Alpha maintenez le cap zéro cinquante trois jusqu'a nouvel avis.
18h07mn00s	DA	On maintient jusqu'à nouvel avis
18h07mn20s	Ctl	Air Inter Delta Alpha poursuivez la descente vers le niveau soixante dix
18h07mn25s	DA	On poursuit la descente vers soixante dix, sept et zéro Delta Alpha
18h08mn45s	Ctl	Air Inter Delta Alpha le niveau descente ?
18h08mn49s	DA	On croise cent cinquante en descente vers soixante dix Delta Alpha
18h08mn52s	Ctl	Delta Alpha reçu, plus de restriction de cap, contactez Strasbourg cent vingt point sept. Au revoir.
18h08mn57s	DA	Plus de restriction de cap cent vingt sept, au revoir

TRANSCRIPTION ATC DE STRASBOURG
FREQUENCE APPROCHE 120.7

Heure UTC	DE	COMMUNICATIONS
18h09mn01s	DA	Strasbourg Approche bonjour Air Inter cent quarante huit Delta Alpha.
18h09mn05s	Ctl	Cent quarante huit Delta Alpha bonjour, procédez sur ANDLO. Votre distance ?
18h09mn10s	DA	Oui ANDLO, et on est à vingt deux nautiques DME d'STR
18h09mn14s	Ctl	Reçu, vous poursuivez la descente vers cinq mille pieds au QNH mille vingt trois, rappelez ANDLO cinq mille pieds.
18h09mn20s	DA LGL854 Ctl LGL854	Cinq mille pieds, mille vingt trois on rappelle ANDLO cinq mille. Luxair 854, is passing 5000 Roger 854 proceed to GTQ, climb FL 140, contact Reims Roger. GTQ, 140, to Reims 128,3. Bye bye
18h10mn09s	DA	Pour Delta Alpha, vous confirmez Fox Echo mille cinq, zéro cinq correct ?
18h10mn15s	Ctl	Le Fox Echo est de mille cinq, zéro cinq et le QNH mille vingt trois
18h10mn18s	DA	Merci, Monsieur.

18h11mn51s	DA	On passe ANDLO, Air Inter Delta Alpha, niveau... euh pardon sept mille cinq cent pieds en descente.
18h11mn55s	Ctl	Reçu cent quarante huit Delta Alpha vous êtes numéro un pour la VOR DME zéro cinq, rappelez passant le VOR en finale.
18h12mn02s	DA	Numéro un pour la VOR DME zéro cinq.
18h12mn16s	DA	Confirmez le plafond Strasbourg.
18h12mn18s	Ctl	Euh.. actuellement on a trois huitièmes à mille cent pieds et six huitièmes à deux mille six cent pieds.
18h12mn25s	DA	Ouais, on envisagerait de procéder Sierra Echo faire un ILS avec une indirecte pour la zéro cinq ensuite.
18h12mn38s	Ctl	Reçu Delta Alpha.
18h12mn44s	Ctl	Delta Alpha, vous maintiendrez initialement cinq mille mille vingt trois et étant donné qu'on va avoir trois décollages en zéro cinq, vous risquez d'attendre dans le stack à cinq mille pieds.
18h12mn59s	DA	On fera un retour avec la procédure VOR DME à ce moment-là
18h13mn02s	Ctl	OK!
18h13mn19s	Ctl	Delta Alpha euh.. Strasbourg
18h13mn23s	DA	J'vous écoute.
18h13mn24s	Ctl	Si vous voulez là je peux vous prendre au radar pour vous amener à ANDLO à cinq mille
18h13mn30s	DA	Ah oui!
18h13mn31s	Ctl	OK, alors soixante et un zéro zéro, virez par la gauche au cap deux cent trente.
18h13mn37s	DA	Soixante et un zéro zéro et cap deux cent trente par la gauche.
18h13mn40s	Ctl	Voilà, cela vous fera gagner du temps.
18h13mn42s	DA	Merci!
18h13mn56s	Ctl	Alors vous maintenez cinq mille en atteignant et jusqu'à ANDLO, le QNH est de mille vingt trois
18h14mn02s	DA IT EK Ctl IT EK Ctl IT EK	QNH mille vingt trois, on maintient cinq mille Strasbourg, bonjour Air Inter Echo Kilo, on approche du seuil zéro cinq et on est prêts. Reçu Echo Kilo, alignez vous et maintenez. On s'aligne et on maintient Echo Kilo. Air Inter autorisé au décollage, le vent 040/24 kts. Echo Kilo, on décolle.
18h15mn02s	Ctl	Delta Alpha, six nautiques radial deux cent quatre vingt dix de Strasbourg.

18h15mn08s	DA AF1204 Ctl AF1204	Reçu Delta Alpha. AF 1204 is ready AF 1204 good evening, line up and wait AF 1204 is clear to line up and wait 05
18h17mn45s	Ctl	Air Inter Delta Alpha vous virez par la gauche un cap quatre vingt dix zéro neuf zéro.
18h17mn52s	DA Ctl EK Ctl EK QZ Ctl	Cap quatre vingt dix, zéro neuf zéro par la gauche Delta Alpha. Echo Kilo autorisé le virage sur Epinal vers le niveau cent quarante. A gauche sur Epinal vers le niveau cent quarante Echo Kilo. Affirme, vous rappelez le soixante dix libéré Air Inter Echo Kilo. D'accord. Bonjour Air Inter Quebec Zoulou, on approche le point d'arrêt zéro cinq. Reçu Quebec Zoulou, maintenez, je vous rappelle.
18h18mn33s	Ctl	Air inter Delta Alpha poursuivez le virage à gauche pour vous établir sur le zéro cinquante et un, vous êtes à quatre nautiques d'ANDLO...travers gauche ANDLO.
18h18mn41s	DA	Reçu, on rappelle établi sur le QDM zéro cinquante et un.
18h18mn45s	Ctl AF1204 AF1204 Ctl QZ	Affirm monsieur. AF 1204, take-off, clear take off, wind 040-24 knots maintain runway heading after. AF 1204 is clear to take off and maintain runway heading Air Inter Quebec Zoulou, après le décollage, alignez-vous et maintenez. Après le décollage, on s'alignera Quebec Zoulou.
18h19mn19s	Ctl	Air Inter Delta Alpha travers droit ANDLO, autorisé à l'approche finale VOR DME zéro cinq.
18h19mn24s	DA EK Ctl EK	Delta Alpha. On libère soixante dix vers cent quarante. Air Inter Echo Kilo en route sur Epinal. Reçu Air Inter Echo Kilo. Contactez Reims contrôle cent vingt huit cinq. Bon vol. Cent vingt huit cinq. Merci.
18h19mn47s	Ctl	Delta Alpha rappelez le VOR en finale.
18h19mn50s	DA Ctl AF1204	Rappelle le VOR en finale. AF 1204 - Left turn inbound GTQ is approved. Left turn to GTQ AF 1204.
18h20mn36s	IT QZ QZ	Le vent au sol zéro quarante zéro - vingt quatre kt autorisé décollage zéro cinq. Nous décollons. Québec Kilo.
18h20mn57s	Ctl Ctl Ctl Ctl QZ	DA votre position ? Air Inter Delta Alpha Strasbourg? Air Inter Delta Alpha Strasbourg? Québec Zoulou, vous limitez deux mille cinq cent pieds Deux mille cinq cent pieds Quebec Zoulou.

ANNEXE 10 : Transcription de la communication téléphonique entre le CRNA/Est et l'approche de Strasbourg

18h01min22sec	APP	Oui Strasbourg
18h01min24sec	CCR	Oui c'est pour une arrivée, l'Air Inter cent quarante huit Delta Alpha
18h01min27sec	APP	A quelle heure ?
18h01min28sec	CCR	A treize
18h01min30sec	APP	Dela Alpha à treize, le soixante dix et tu croises avec le dix huit soixante dix.
18h01min35sec	CCR	Comment ?
18h01min36sec	APP	Tu le mets sur ANDLO, niveau soixante dix…
18h01min40sec	CCR	Oui…
18h01min40sec	APP	…et tu croises avec le dix huit soixante dix.
18h01min45sec	CCR	Avec le dix huit soixante dix.
18h01min47sec	APP	OK ?
18h01min47sec	CCR	Ouais, OK.

ANNEXE 11 : Trajectographie radar et note technique associée

NOTE EXPLICATIVE SUR LES TRAJECTOGRAPHIES RADAR

Principe sommaire du radar secondaire

Les radars utilisés au sein de l'aviation civile à des fins de contrôle "en-route" sont des radars "secondaires" qui nécessitent la participation active d'un système électronique installé à bord des avions pour élaborer leurs mesures. Ils "interrogent" en effet les "répondeurs " de bord situés dans leur couverture selon un rythme régulier. Ceux-ci renvoient, lorsque le faisceau radar les intercepte, une réponse codée sur laquelle s'effectue la mesure.

Le répondeur transmet son code d'identification en réponse à une interrogation de type "mode A", et son "altitude pression" à une interrogation de type "mode C". La référence d'"altitude zéro" est l'isobare 1013 hPa.

Chaque passage du faisceau radar devant la cible donne lieu à plusieurs interrogations sur les deux modes afin de confirmer les réponses par corrélation. Une mesure de position est effectuée sur chaque réponse des répondeurs de bord.

Elle se décompose en :

- la distance oblique radar/cible déduite du temps qui s'écoule entre le départ de l'interrogation et

l'arrivée de la réponse.
- l'azimut de la cible, angle formé par l'axe de référence zéro degré de l'antenne calée sur le nord local radar et celui du faisceau radar au moment de la mesure.

Un algorithme d'extraction et de corrélation réalise la synthèse des réponses de chaque répondeur pour constituer le "plot" radar d'un avion.

Les plots sont envoyés par transmission de données sur support filaire au système de traitement radar des centres de contrôle régionaux responsables du trafic aérien de la région.

La portée des radars est de 180 milles nautiques en espace libre. Elle se limite à l'horizon radioélectrique aux basses altitudes en raison de la rotondité de la terre ou lorsqu'un obstacle ou le relief s'interpose entre le radar et la cible. La détection est en outre volontairement atténuée le long de l'horizon radioélectrique afin de supprimer les perturbations néfastes que l'on observe en son voisinage.

Lorsque les cibles sont détectées sous sites faibles, le bilan de liaison radioélectrique varie fortement. On note alors de fréquentes ruptures de liaisons par masque d'antenne lors des changements d'assiette des l'appareils.

Le système de traitement radar

Il est chargé de reconstituer les "pistes" des avions à partir des plots reçus afin de présenter, sur les écrans de contrôle du Centre de Contrôle Régional, l'information la plus pertinente mise à jour avec les mesures multiradar les plus récentes.

Il reçoit donc en entrée les plots de toutes les sources radars, vérifie leur cohérence et les date. Il convertit les positions reçues de façon à les placer dans un repère géographique commun indépendant des radars, après les avoir corrigées des biais systèmatiques et de leur erreur d'obliquité connaissant l'altitude de l'appareil.

Divers algorithmes très élaborés lui permettent ensuite de réattribuer à chaque piste radar qu'il entretient les dernières mesures radar correspondant aux avions pour lesquels il a identifié une piste. Les radars étant classés localement par ordre décroissant de performance, le système entretient, pour chaque avion, les pistes des trois meilleurs radars. Celle dont la qualité est la plus grande sera en finale envoyée sur les écrans de contrôle. A noter qu'un avion volant à haute altitude peut être détecté simultanément par 6 radars ou plus.

Chaque piste est encore soumise, avant transmission vers les écrans de contrôle, à un filtrage en position et en altitude mettant en oeuvre des techniques très performantes afin d'en éliminer les aberrations radar puis d'en déterminer le vecteur vitesse et la tendance verticale.

Lorsque le traitement radar identifie une nouvelle piste, il établit un dialogue avec le système de traitement des plans de vol afin de réaliser une corrélation entre la piste et son plan de vol pour lui attribuer l'identifiant de l'appareil correspondant à son indicatif d'appel (Numéro de ligne compagnie ou immatriculation de l'appareil).

Ces informations de synthèse sont enfin envoyées sur les écrans radar des contrôleurs avec une cadence de renouvellement de l'image de l'ordre de 10 secondes.

Le temps moyen qui s'écoule entre la mesure radar et la dernière mise à jour de chaque piste est sensiblement égal à la cadence de renouvellement de l'image sur les écrans de contrôle.

Le système effectue également des mesures internes qui lui permettent d'estimer et ensuite de corriger les biais systématiques des positions radar comme par exemple la convergence des nords.

Imperfections et erreurs des radars

Les mesures radar sont entachées d'un "bruit" aléatoire inhérent aux imperfections de la chaîne sol/bord/sol et aux principes d'"extraction" mis en oeuvre. Par exemple, la digitalisation de la vidéo est faite en divisant l'espace en cellules azimut/distance de pas déterminés (1/8 NM et 0,1 degré). L'azimut du plot est celui de la cellule contenant l'écho médiant parmi les échos reçus. En cas de perte partielle des réponses, le plot est excentré voire dédoublé ; s'il change de cellule distance, la distance est modifiée de la longueur du pas.

Les erreurs les plus graves ont toutefois pour origine le recouvrement ou l'imbrication des réponses, cas fréquents dans les zones à forte densité de trafic. Ce mélange induit des erreurs aléatoires de position et de code que les techniques nouvelles mises en oeuvre en matière d'extraction et de traitement du signal ne résolvent encore qu'incomplètement.

Les performances intrinsèques d'une station radar sont également fonction de ses caractéristiques matérielles et/ou de ses réglages, ce qui conduit à une certaine dispersion entre stations. On peut citer :

La puissance à l'émission, le gain, l'ouverture et la vitesse de rotation de l'aérien, la période d'interrogation, les caractéristiques du récepteur, les techniques d'extraction etc...

Aujourd'hui, la Direction de la Navigation Aérienne a développé des logiciels qui permettent d'évaluer périodiquement la qualité et la précision des stations radar. Ces logiciels sont batis sur l'exploitation du trafic tout-venant, c'est à dire qu'ils sont confrontés à des situations réelles de trafic comme l'est un officier contrôleur de la circulation aérienne.

Performances des stations radars:

Elles s'expriment en terme de probabilité de détection et de précision.

La probabilité de détection est le rapport, exprimé en pourcentage, du nombre total de plots reçus de tous les avions se trouvant dans la couverture du radar dans une période de temps déterminée, sur le nombre de plots qui auraient été normalement reçus s'il n'y avait pas eu de perte.

La précision est l'"écart-type" des écarts observés entre la position réelle des plots et leur position théorique recnstituée a posteriori, au moyen de techniques modernes de reconstitution de trajectoires connaissant à chaque instant et pour chaque piste, son présent, son passé, son avenir.

NOTA: Cette mesure est indicative car elle ne tient pas compte des biais systèmatiques inévitables des radars comme par exemple le biais (écart de grandeur constante) en azimut. Celui-ci se révèle en effectuant des mesures absolues sur un appareil dont on connait la position rigoureuse, ou au moyen de techniques mathématiques de minimisation des erreurs mises en oeuvre dans les traitements multiradar.

Toutefois, la distribution des erreurs radar obéissant à une loi quasi-gaussienne et centrée, on peut dire, compte non tenu des biais inconnus, que 95 % des plots détectés présentent une erreur de position inférieure ou égale à trois écarts-type.

Valeurs mesurées:

RADAR Précisions à l'écart-type (alentours de STR)	CHAUMONT	LA DOLE	DRACHENBRONN
distance radiale azimut distance absolue	0,05 NM 0,08 degré 0,06 NM	0,05 NM 0,07 degré 0,12 NM	0,06 NM 0,12 degré 0,17 NM

Probabilité de détection vers 5000 pieds)	94,5 %	0 %	87,6 %

NOTA : un arc de 0,1 à 60 NM est égal à O,1 NM.

Considérations sur le traitement radar

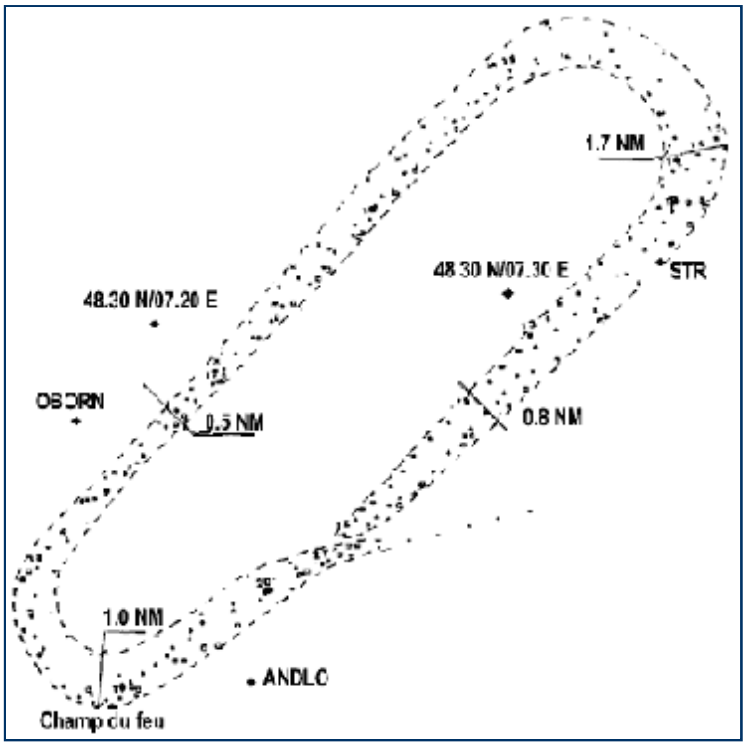
Le traitement radar s'appuie à tout instant sur la connaissance du passé le plus probable pour déterminer l'avenir. Au contraire du radar dont la vision d'un plot dans le temps et dans l'espace est très limitée, il examine dans une fenêtre spatio-temporelle largement ouverte, la situation de chaque plot selon ses antécédents et son environnement vis à vis des plots et des pistes voisines. Il est donc à même de faire le meilleur choix sur des critères pertinents pour ré attribuer chaque plot à la piste à laquelle il appartient. Un filtrage efficace lui permet ensuite de corriger certaines aberrations, sinon d'en atténuer les effets.

Ce traitement est, malgré cela, mis en défaut lorsque le système est confronté à des situations que les moyens informatiques actuels ne peuvent résoudre en raison de la limitation de la puissance de calcul. Pour cette raison le système devient à son tour générateur d'erreurs car il est conduit à faire des approximations qui rendront moins précis le calcul de certains paramètres correcteurs et finalement la position calculée des pistes.

Cela se traduit dans les faits par un léger décalage, les unes par rapport aux autres, des pistes qui représentent dans le modèle interne le même avion, et sur l'écran de contrôle, par un léger saut de position chaque fois que la piste visualisée change de radar.

Compte tenu des règles de sécurité que le contrôleur doit appliquer, ces raisons ont conduit la Direction de la Navigation Aérienne à prescrire dans sa directive concernant la norme d'espacement que l'espacement radar minimal applicable par les organismes de la circulation aérienne avec ce moyen doit être de HUIT milles nautiques.

Les trajectoires relevées Représentation du couloir de dispersion des mesures radar dans l'hippodrome de 18 h 12 à 18 h 22, à partir des radars de : Drachenbraunn enregistré à Drachenbraunn, La Dôle enregistré par le cautra_4 de Reims, Chaumont enregistré par le cautra_4 de Reims, Drachenbraunn enregistré par le cautra_4 de Reims, Radar allemand de Pfalzerwald (reconstitution à l'échelle)



Perception du vol par les radars du système de traitement français.

Trois pistes CAUTRA ont été générées:

LA DOLE qui fut radar maître jusqu'au FL 83 atteint à 10 NM au sud-ouest de STR où la piste mourut par perte définitive de détection.

CHAUMONT sur lequel la piste commuta au FL 59 en descente vers FL 47. Cette piste mourut à son tour en début de mise en virage, probablement par masquage de l'antenne.

DRACHENBRONN reprit alors la piste en monoradar dans le virage et dans le début du tronçon rectiligne de l'hippodrome opposé à STR où un basculement s'opéra à nouveau sur CHAUMONT dont la détection redevint correcte en sortie de virage.

CHAUMONT conserva alors la piste jusqu'à la perte complète de la détection survenue au FL 44.

Les erreurs de positions :

On observe que les pistes présentent une légère sinuosité les unes par rapport aux autres sur l'ensemble du parcours de l'appareil avec un écart maximum pour la piste de CHAUMONT de 1,2 NM à 8 NM au nord de LUL.

A l'entrée de l'hippodrome la piste de CHAUMONT est décalée de 0,3 NM par rapport à la piste de DRACHENBRONN. Le décalage entre ces deux pistes va être la cause d'une succession d'altérations dans la géométrie de la piste générée par le système en raison des basculements successifs d'une piste sur l'autre que l'algorithme de choix du meilleur radar va engager.

En effet, à la suite de la perte de LA DOLE, la piste s'infléchit vers l'extérieur car CHAUMONT est pris en compte. Lors du passage sur DRACHENBRONN en début de la courbe, le système anticipe légèrement le virage car le plot qu'il prend en compte semble engager un virage serré compte tenu des erreurs relatives entre les deux pistes tandis que le plot suivant confirme cette tendance. Ce saut de position par changement de radar maître en début de virage induit le système en erreur et le conduit à faire prendre à l'appareil un virage plus serré que le perçoit le radar traité. L'écart maximal en milieu de courbe entre plots radar et piste visualisée atteint alors 0,5 NM. En sortie de courbe la piste de CHAUMONT réapparaît mais présente un écart avec

celle de DRACHENBRONN de 0,7 NM. L'algorithme de choix du meilleur radar rebascule à nouveau la piste sur CHAUMONT en lui faisant subir cette fois une inflexion vers l'intérieur de l'hippodrome puisque les pistes ont conservé leur décalage relatif.

Enfin, les pistes de CHAUMONT et DRACHENBRONN convergent progressivement l'une vers l'autre jusqu'à disparition de celle de DRACHENBRONN par perte radar définitive.

Comparaison des "hippodromes" français et allemands.

Si l'on superpose les deux hippodromes en prenant d'une part pour référence la position de STR dans les deux représentations et en superposant d'autre part les courbes des hippodromes du côté des Vosges on constate :

Un décalage de 0,6 NM des deux pistes à hauteur de STR.

Une prise de virage par la piste française visualisée (et a fortiori par celle de Drackenbraunn tant que ce radar est radar maître) plus large que celle des radars allemands (rayon de courbure de 2,4 NM pour l'une, 1,95 NM pour l'autre)

Une superposition des deux pistes jusqu'à perte commune de celles-ci sensiblement au même endroit.

En résumé :

On peut considérer que l'erreur radar la plus importante fut de 1,2 NM sur le tronçon LUL/STR, la piste ayant présenté cet écart (CHAUMONT) n'étant toutefois pas celle qui fut visualisée pour le contrôleur.

Dans l'hippodrome les écarts atteignent +/- 0,6 NM par rapport à une trajectoire moyenne fictive parce que dans le système français des biais résiduels de positions subsistent.

Enfin CHAUMONT et le radar allemand ont eu sensiblement la même vision en fin de trajectoire.

A noter que le système français renouvelait les informations sur l'écran du contrôleur toutes les 14 secondes soit tous les 1,5 NM environ sur le tronçon de vol en-route et tous les 1 NM en hippodrome.

ANNEXE 12 : Trajectoire FMGC1 et trajectoire de synthèse
Tél*écharger le document PDF*

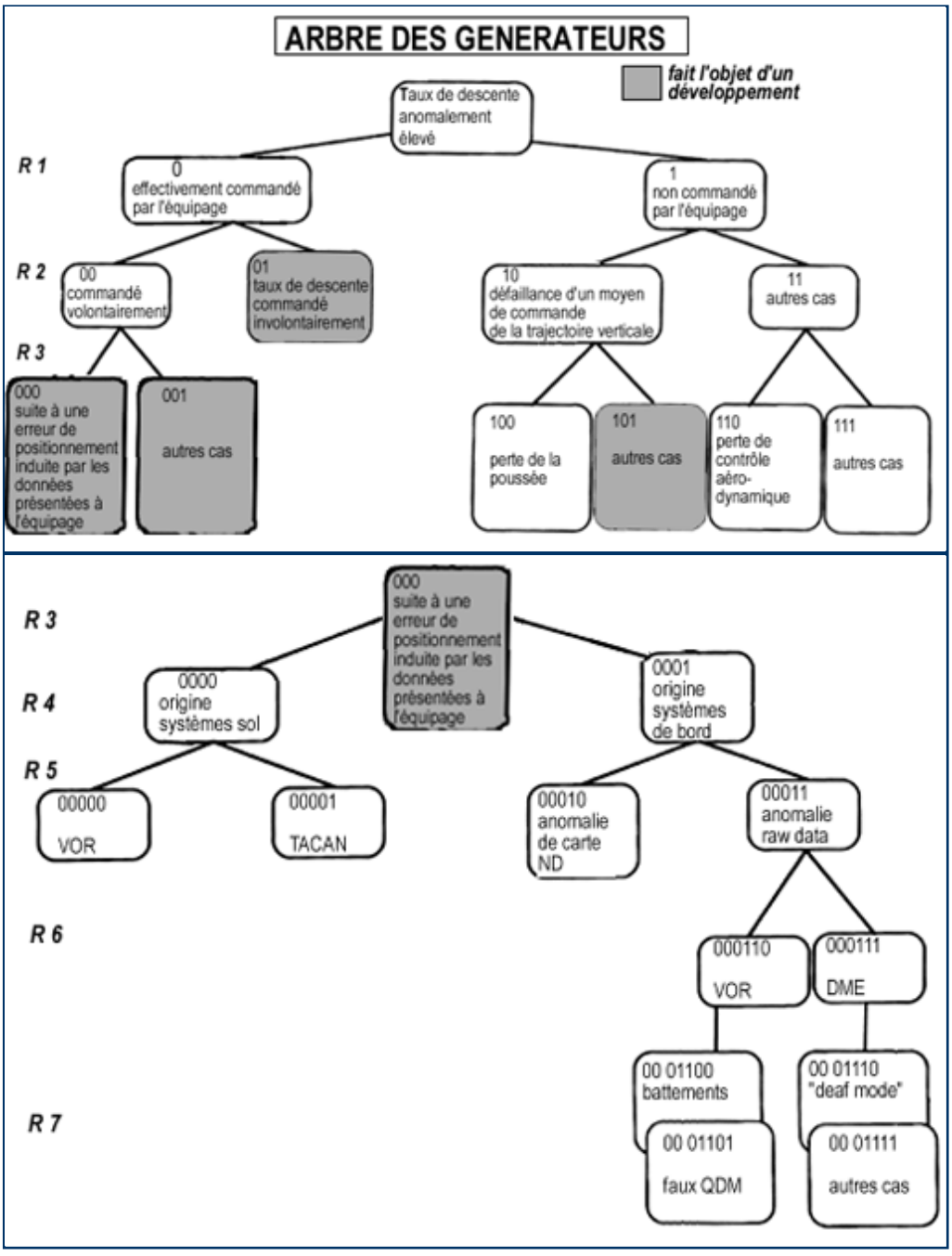
2533	On passe ANDLO
2543	On passe ANDLO Air Inter Delta Alpha, niveau... euh pardon sept mille cinq cents pieds en descente
2564	Dix nautiques...Ca passe pas dis lui, on va faire un...
2582	@ (Gong)
2596	Delta Alpha, vous maintiendrez initialement cinq mille au QNH mille vingt trois et étant donné qu'on va avoir trois décollages en zéro cinq, vous risquez d'attendre dans le stack à cinq mille pieds

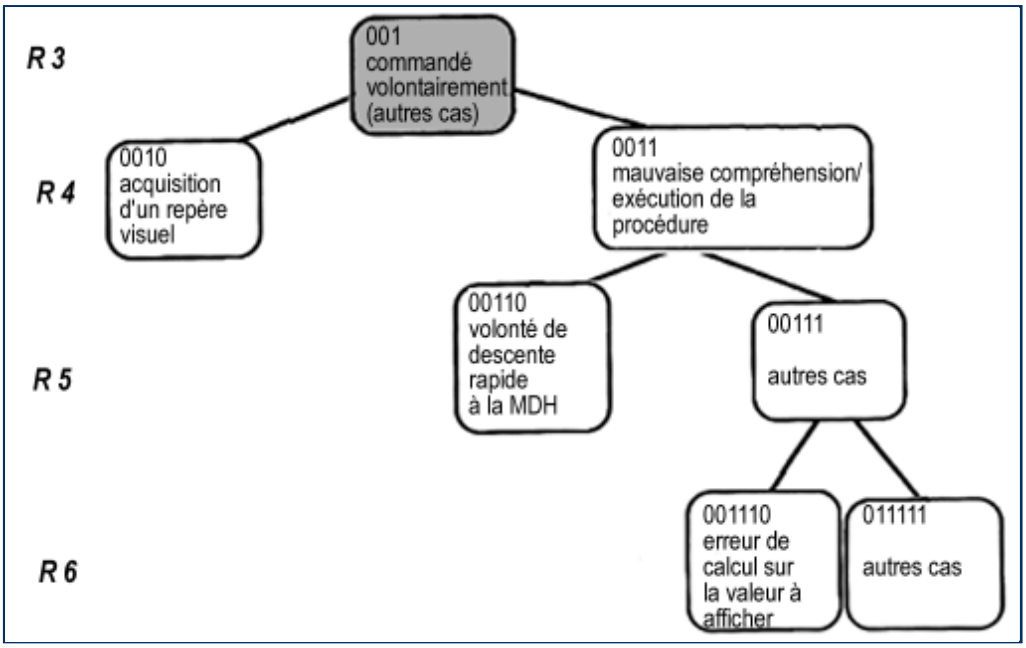
2636	Si vous voulez là je peux vous prendre au radar pour vous amener à ANDLO à cinq mille
2643	OK ! alors soixante et un zero zero, virez par la gauche au cap deux cent trente.
2654	ALT HOLD, 5000 FT QNH
2668	Alors vous maintenez cinq mille en atteignant et jusqu'à ANDLO, le QNH est de mile vingt trois
2708	Alors les distances là...euh...ah oui là (*) verticale le deux cent cinquante en éloignement jusqu'à onze STR, on repasse par ANDLO sur l'axe et on libère à onze STR...quatre mille cinq cents pieds neuf STR, trois mille huit sept trois sept trois mille deux; En cas de remise de gaz on remonte dans l'axe
2734	Delta Alpha, six nautiques radial deux cent quatre vingt dix de Strasbourg
2741	La percée se fait sur zéro cinquante c'est un plan de trois virgule cinq euh cinq virgule cinq...ça fait trois degrés trois
2765	On va mettre l'anti ice ...engine
2810	C'est la merde hein quand t,es pas prêt le temps d'arriver à cinq mille pieds sur ANDLO plein pot euh... ca passe pas hein... En plus...à...quoi...dix nautiques de la finale
2897	Air Inter Delta Alpha vous virez par la gauche un cap quatre vingt dix zéro neuf zéro
2925	Les flaps vers un
2945	Air Inter Delta Alpha poursuivez le virage à gauche pour vous établir sur le zéro cinquante et un, vous êtes à quatre nautiques d'ANDLO ...travers gauche d'ANDLO
2983	...t'es (intérieur) là hein! Il aurait fallu qu'tu ouvres au zéro sept zéro
2991	Air Inter Delta Alpha travers droit ANDLO, autorisé...à l'approche finale VOR DME zéro cinq
2998	Flaps vers deux
3010	Gear down
3017	VZ NEGATIVE
3019	Delta Alpha rappelez le V-O-R en finale
3038	Nous devons (l'passer) huit cents pieds
3049	Sur l'axe
3054	On arrive sur l'axe… un demi point de l'axe. Là voilà il a été au soixante c'est bon tu vois ici
3064	Radiosonde: TWO HUNDRED

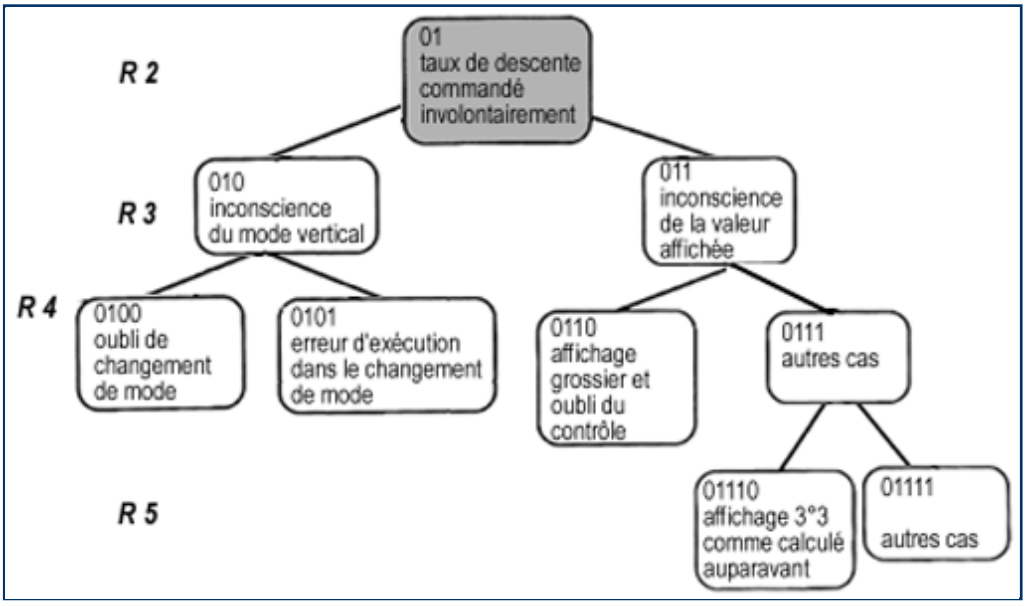
ANNEXE 13 : Dossier météorologique

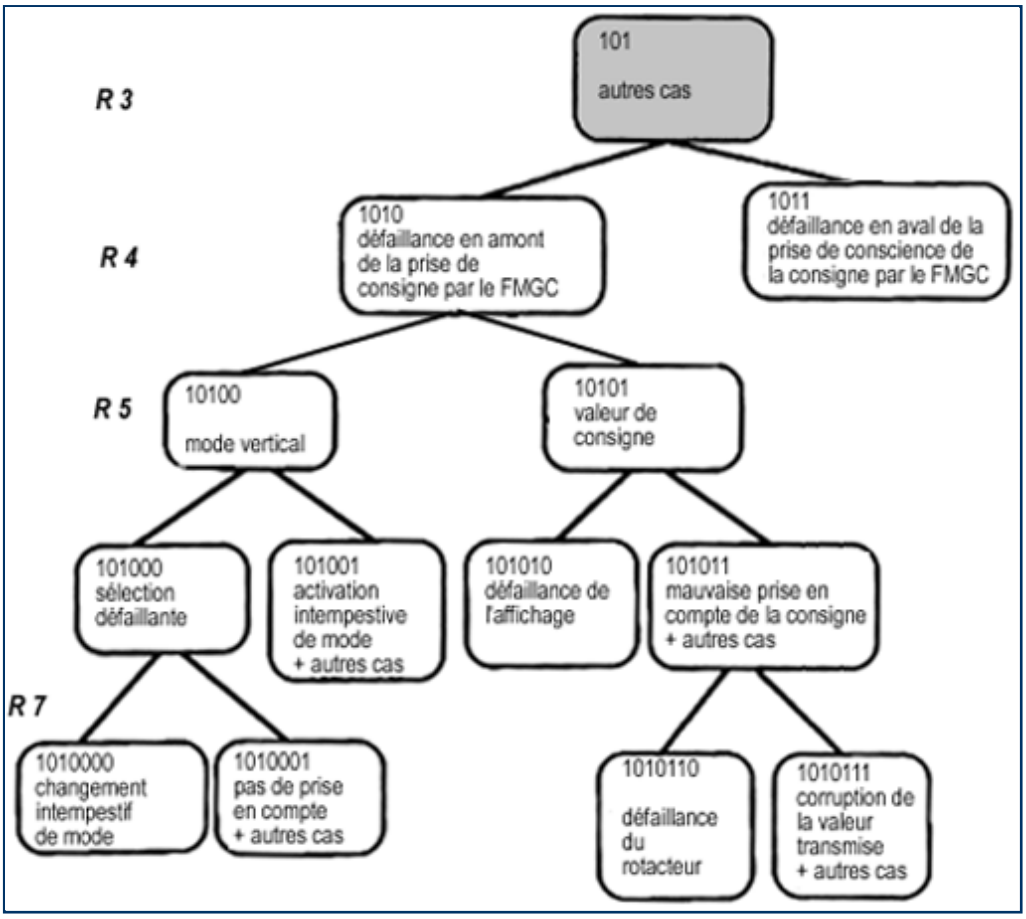
Télécharger le document PDF

ANNEXE 14 : Arbre des générateurs potentiels de l'accident


ARBRE DES GENERATEURS
fait l'objet d'un développement
Taux de descente anormalement élevé
R 1
0 effectivement commandé par l'équipage
1 non commandé par l'équipage
R 2
00 commandé volontairement
01 taux de descente commandé involontairement
10 défaillance d'un moyen de commande de la trajectoire verticale
11 autres cas
R 3
000 suite à une erreur de positionnement induite par les données présentées à l'équipage
001 autres cas
100 perte de la poussée
101 autres cas
110 perte de contrôle aéro-dynamique
111 autres cas
R 3
000 suite à une erreur de positionnement induite par les données présentées à l'équipage
R 4
0000 origine systèmes sol
0001 origine systèmes de bord
R 5
00000 VOR
00001 TACAN
00010 anomalie de carte ND
00011 anomalie raw data
R 6
000110 VOR
000111 DME
00 01100 battements
00 01101 faux QDM
00 01110 "deaf mode"
00 01111 autres cas
R 7


R 3
001
commandé
volontairement
(autres cas)
R 4
0010
acquisition
d'un repère
visuel
0011
mauvaise compréhension/
exécution de la
procédure
R 5
00110
volonté de
descente
rapide
à la MDH
00111
autres cas
R 6
001110
erreur de
calcul sur
la valeur à
afficher
011111
autres cas


R 2
01
taux de descente
commandé
involontairement
R 3
010
inconscience
du mode vertical
011
inconscience
de la valeur
affichée
R 4
0100
oubli de
changement
de mode
0101
erreur d'exécution
dans le changement
de mode
0110
affichage
grossier et
oubli du
contrôle
0111
autres cas
R 5
01110
affichage 3°3
comme calculé
auparavant
01111
autres cas



ANNEXE 15 : Description des systèmes de pilotage et de navigation de l'A320

Ce paragraphe comporte une description succincte des systèmes de navigation et de pilotage de l'A320 ainsi que de leurs modes d'utilisation. Les abréviations utilisées sont celles des noms de systèmes en anglais.

Rappel :

Du point de vue du pilotage et de la navigation et compte tenu du déroulement du vol dans les dernières minutes, le dernier virage et la mise en descente peuvent être décomposés en deux phases : une phase pendant laquelle le pilote gérait son vol en intégrant les consignes de cap et d'altitude données par le contrôleur de Strasbourg, suivie d'une phase où le pilote assurait l'intégralité de la gestion de l'approche.

1 - Introduction.

1.1 - Les modes de pilotage de l'A320.

L'Airbus A320 peut être piloté suivant trois modes:

- le mode manuel,
- le mode automatique dit "managé",
- le mode automatique dit "sélecté".

1.2 - Le système de visualisation électronique de l'A320 (EFIS)

Le système EFIS (Electronic Flight Instrument System) comprend trois calculateurs DMC (Display Management Computer) installés dans la soute électronique et connectés aux écrans du poste de pilotage.

Les DMC rassemblent les informations provenant d'autres calculateurs se trouvant également dans la soute électronique et de divers capteurs. Fonctionnant en parallèle, les DMC examinent toutes les entrées afin de contrôler leur validité avant transmission aux écrans cathodiques du poste de pilotage (DU : Display Unit). Si des tests de validité ne sont pas satisfaits l'équipage en est averti.

Les informations présentées sont regroupées de façon logique sur les écrans suivants :

- Primary Flight Display (PFD),
- Navigation Display (ND),
- Engine and Warning Display (E/WD),
- System Display (SD).

Les écrans PFD et ND font partie de l'EFIS, tandis que l'E/WD et le SD font partie de l'ECAM (Electronic Centralized Aircraft Monitoring).

Chaque pilote dispose d'un PFD et d'un ND.

Données visualisées sur le PFD :

voir les figures 1 et 2.

télécharger le document PDF

Données visualisées sur le ND :

le Navigation Display fonctionne selon cinq modes différents. Sur ces cinq modes, trois symbolisent l'indicateur de situation horizontale électromécanique traditionnel (HSI : Horizontal Situation Indicator), il s'agit des modes Rose ILS, Rose VOR et Rose NAV. Les deux autres modes du ND sont ARC, qui visualise un secteur de 90° devant l'appareil et PLAN, qui est une carte toujours orientée avec le nord en haut de l'écran. Contrairement aux autres modes pour lesquels la carte se déplace derrière un symbole avion fixe, en mode PLAN, le symbole avion se déplace sur la carte.

La figure 3 présente un ensemble d'exemples des cinq modes différents du ND, et la figure 4 illustre le ND en mode Rose NAV.

1.3 - Le système de visualisation "tête haute": (Head Up Display)

Description :

Les A320 de la compagnie Air Inter sont équipés d'un HUD installé dans l'auvent, côté gauche, qui fournit au pilote en place gauche des informations de pilotage sur un miroir semi-transparent. Ces informations sont collimatées à l'infini et sont donc superposées avec la vision "normale" du pilote lorsqu'il regarde au travers du pare-brise.

Selon la phase de vol et l'état des systèmes utilisés, le HUD peut présenter cinq figurations : configuration de base "en vol", approche ILS, approche à vue, roulage après atterrissage automatique, roulage au décollage. Le choix de la figuration est effectué automatiquement par le système en fonction des modes pilote automatique ou directeur de vol. Dans le cadre d'une approche VOR-DME (ou VOR-TACAN), seules deux classes de figurations sont possibles :

- la figuration de base "en vol", si l'avion est en palier, en mode IDLE OPEN DESCENT, ou en

mode Vs;

- ou la figuration "approche à vue" en mode FPA, Dans ce cas où le mode FPA est engagé, apparaissent la pente sélectée au FCU (matérialisée par des traits horizontaux), le vecteur vitesse (avec la flèche de pente virtuelle et la vitesse) et la hauteur radio-altimétrique.

A titre d'exemple, la figure 5 représente la symbologie du HUD en figuration "approche à vue". La pente (FPA) sélectée au FCU et la pente actuelle de l'avion sont égales et légèrement inférieures à -3° , l'altitude radiosonde est de 2630 ft et la vitesse indiquée est de 156 kt.

La figure 6 représente, en figuration de base, cas où la pente de descente est comprise entre 10 et 11° , la vitesse indiquée étant de 185 kt et en augmentation, et l'altitude radiosonde de 2000 ft.

Utilisation du HUD en approche classique :

Le HUD n'a pas été conçu pour visualiser les informations de radionavigation nécessaires pour conduire une approche classique (par exemple, ni les déviations VOR ni les distances DME ne sont affichées sur le HUD).

La présence du vecteur vitesse sol, et éventuellement de la pente sélectée, fournit une aide au pilotage utilisable lorsque la piste est en vue, en matérialisant le point d'aboutissement de la trajectoire.

2 - Le mode de pilotage manuel.

Dans ce mode, les ordres de pilotage sont transmis aux commandes de vol par le pilote en actionnant le mini-manche et le palonnier pour contrôler la trajectoire, les manettes de moteur pour contrôler la poussée.

Le pilote peut utiliser ce mode dans toutes les phases de vol et notamment en action réflexe nécessitant une grande rapidité d'exécution. Le désengagement instantané du pilote automatique peut être obtenu de plusieurs façons, notamment en manoeuvrant un mini-manche au-delà d'un certain seuil d'effort, ou à l'aide d'un bouton situé sur chaque mini-manche.

Remarque : Le mode manuel est le seul autorisé au décollage.

3 - Le système de contrôle automatique du vol de l'A320

3.1 - Généralités.

Le système de contrôle automatique de vol de l'A320 est organisé autour de deux types de calculateurs :

les FMGC (Flight Management and Guidance Computer) et les FAC (Flight Augmentation Computer),
et de deux systèmes de commande: le FCU (Flight Control Unit) et les MCDU (Multipurpose Control and Display Unit).

Les calculateurs FMGC et FAC sont doublés et sont installés dans la soute électronique.

Les FMGC réalisent les fonctions suivantes :

- le pilote automatique (AP : Auto pilot),
- le directeur de vol (FD : Flight Director),
- la gestion du vol (FM : Flight Management),
- la gestion automatique de la poussée des réacteurs (A/THR: Auto Thrust).

Les FAC réalisent :

- l'amortissement en lacet,
- le trim de direction,

- la limitation du débattement gouverne de direction,
- le calcul des vitesses caractéristiques et de l'enveloppe de vol,
- l'acquisition et la réalisation des ordres AP en lacet.

Le FCU est implanté dans l'auvent du poste de pilotage et les deux MCDU sont sur le pylone central.

Il y a deux modes de fonctionnement du système de commande automatique du vol de l'A320 :

- Le mode dit "managé" où les consignes exécutées, soit par le pilote automatique, soit par le pilote en suivant les indications données par le directeur de vol, sont déduites du plan de vol par la fonction Flight Management du FMGC.
- Le mode dit "sélecté" où les consignes exécutées sont déduites d'une sélection manuelle affichée par le pilote sur le FCU.

3.2 - Paramètres de la trajectoire avion.

Les modes du pilote automatique et du directeur de vol permettent de maintenir des paramètres latéraux et longitudinaux de la trajectoire de l'avion. Les références suivant lesquelles ces paramètres sont exprimés, conditionnent donc le type de trajectoire suivie.

a) - Référence d'altitude.

Calage baroaltimétrique standard : un altimètre calé en standard indique l'altitude pression du lieu où il se trouve. C'est le calage utilisé pour la définition des niveaux de vol.
Calage baroaltimétrique QNH : un altimètre calé au QNH indique au point de référence d'un aéroport, l'altitude de cet aéroport.
Calage baroaltimétrique QFE : un altimètre calé au QFE indique au point de référence de l'aéroport une hauteur nulle.

b) - Grandeurs manipulées.

Le cap magnétique (HDG : Heading): c'est l'angle entre l'axe avion et le nord magnétique.
La route magnétique (TRK : Track): c'est l'angle entre le vecteur vitesse de l'avion par rapport au sol (G/S: Ground Speed) et le nord magnétique.
La vitesse verticale (V/S : Vertical Speed): cette vitesse est obtenue par combinaison des informations provenant des calculateurs ADC (Air Data Computer) pour les dynamiques lentes et des IRS (Inertial Reference System) pour les dynamiques rapides. En régime stabilisé la vitesse verticale calculée par dérivation de l'altitude pression et celle calculée par intégration de l'accélération verticale inertielle ont la même valeur.

L'angle du plan de descente ou de montée (FPA : Flight Path Angle): c'est l'angle entre la vecteur vitesse de l'avion par rapport au sol et l'horizontale. Par abus de langage on traduit parfois Flight Path Angle par "pente" (exemple : un angle de plan de descente en approche de 3,3° correspond à une pente de descente d'environ 5,5%).

Les grandeurs TRK et FPA sont des caractéristiques du vecteur vitesse sol de l'avion. Leur asservissement à des consignes définit une trajectoire de l'avion par rapport au sol.

3.3 - Interfaces entre l'équipage et le système de pilotage automatique.

Le système de commande automatique du vol (AFS : Auto Flight System) de l'A320 échange des informations avec un grand nombre de systèmes, et bien entendu avec le pilote, au travers des deux systèmes de commande : le FCU et le MCDU.

3.31 Le MCDU.

En mode "managé", le clavier-écran MCDU (Multi-purpose Control Display Unit) est le système d'interface entre le pilote et le FMGS. Voir figure 7.

Le MCDU permet :

- l'introduction et la modification du plan de vol,
- la modification et la visualisation des paramètres liés à la gestion du vol,
- et l'exécution de certaines tâches de maintenance et de communication, mais hors de l'aspect AFS.

3.32 Le FCU.

En mode "sélecté", le panneau FCU (Flight Control Unit) est le système d'interface entre l'équipage et le FMGS.

Le FCU permet :

- l'engagement de l'AFS,
- la sélection des modes et des consignes,
- la définition de la référence d'altitude et de trajectoire.

a) L'engagement des deux pilotes automatiques et des deux directeurs de vol (AP1, AP2, FD1, FD2) et l'activation de l'auto-poussée (A/THR).
b) La sélection des consignes pour les AP/FD (altitude, vitesse ou nombre de mach, vitesse verticale, pente, cap, route),
c) La sélection des modes de guidage,
d) La commande des instruments de bord (hors de l'aspect AFS).

Description du panneau FCU.Voir figure 8.

Le FCU comprend en particulier les éléments suivants:

. Quatre sélecteurs et fenêtres de visualisation permettent au pilote de définir et de visualiser les consignes qu'il impose à l'AFS :

- la vitesse ou le nombre de mach,
- le cap ou la route (HDG ou TRK),
- le niveau de vol, la hauteur ou l'altitude,
- la vitesse verticale (V/S) ou la pente (FPA).

La même fenêtre et le même sélecteur sont utilisés pour le cap ou la route, suivant la référence sélectée. La sélection du mode HDG (ou TRK) permet la capture et le maintien du cap (ou de la route) sélecté par le pilote.

La même fenêtre et le même sélecteur sont utilisés pour la vitesse verticale ou la pente de la trajectoire. La sélection du mode V/S (ou FPA) permet d'acquérir et de maintenir la vitesse verticale (ou la pente) que le pilote a sélectée au FCU.

Une légende lumineuse située au dessus de l'inverseur de mode indique le mode sélectionné: HDG V/S ou TRK FPA selon le cas. Dans la fenêtre d'affichage des valeurs cibles, une légende lumineuse située au dessus de la valeur considérée indique la nature du paramètre activé: V/S ou FPA selon le mode sélectionné

Note : il existe deux autres modes de changement de niveau. Ce sont les modes OPEN et EXPEDITE.

. Les voyants poussoirs d'engagement et de désengagement des deux pilotes automatiques (AP1 et AP2). Un seul AP peut être engagé à la fois, sauf en mode LAND pour l'atterrissage automatique.

. Les voyants poussoirs d'engagement et de désengagement des deux directeurs de vol (FD1 et

FD2).

. Le voyant poussoir d'activation de l'auto-poussée.

. Le bouton-poussoir de commutation des modes HDG-V/S et TRK-FPA. Le passage d'un mode à l'autre change les indications sur le FCU, le mode annocé au FMA, et la symbologie du directeur de vol si celui-ci est engagé. De plus la valeur sélectée dans le nouveau mode engagé se synchronise sur la valeur avion.

La philosophie d'utilisation du FCU est la suivante:

- Une action à tirer sur un sélecteur engage le mode sélecté correspondant.

- Une action à pousser sur les sélecteurs de vitesse-Mach, et de HDG,TRK engage les modes managés correspondants. Une action à pousser sur le sélecteur V/S-FPA n'a aucun effet.

Après action à tirer ou à pousser, le bouton est rappelé par un ressort.

Méthodes d'utilisation du FCU.

Deux procédures sont possibles :

- Soit le pilote commence par tourner le sélecteur rotatif du paramètre qu'il veut modifier. Ceci provoque l'affichage du paramètre dans la fenêtre correspondante, et permet de sélectionner la valeur désirée. Puis, en tirant sur le sélecteur, le pilote commande la transmission de la valeur sélectionnée vers le FMGS.

- Soit le pilote commence par tirer le sélecteur. Cette action engage le mode et provoque l'affichage de la valeur actuelle du paramètre. Il est alors possible de modifier cette valeur en tournant le sélecteur.

Exemple d'utilisation du FCU pour le guidage horizontal.

Le pilote pourra adopter le mode HDG lorsqu'il exécute des instructions de guidage radar données en cap et adopter le mode TRK pour suivre une route.

Sélection et affichage du mode HDG ou TRK :

La sélection du mode HDG (cap) ou TRK (route) se fait en appuyant sur le bouton [4].
Le sélecteur rotatif [9] permet d'afficher la valeur de cap (ou de route) désirée. Dès que ce bouton est tiré, le paramètre est sélecté et traité immédiatement par le FMGS.

L'indication HDG ou TRK apparaît au FMA.

La valeur cible (HDG ou TRK) du FMGS s'inscrit sur l'échelle de cap/route du PFD (Primary Flight Display) qui est graduée en degrés, de 0° à 359° .

Exemple d'utilisation du FCU pour le guidage vertical.

Lorsqu'il commande une descente, le pilote a, entre autres possibilités, celle de sélectionner la vitesse verticale V/S ou l'angle du plan de descente FPA.

Les modes V/S et FPA:

Ces modes de guidage longitudinal permettent d'acquérir et de maintenir la vitesse verticale ou la pente sélectée au FCU.

Sélection et affichage du mode V/S ou FPA : ce choix se fait en appuyant sur le bouton [4].

Rappelons que les grandeurs FPA et TRK sont des caractéristiques du vecteur vitesse de l'avion par rapport au sol. Le mode V/S est associé au mode HDG, tandis que le mode FPA est associé au mode TRK. Les combinaisons TRK-V/S et HDG/FPA ne sont pas possibles.

Le sélecteur rotatif [15] permet d'afficher la valeur de vitesse verticale (ou d'angle du plan de descente) désirée. Dès que ce bouton est tiré, le paramètre est sélecté et traité immédiatement par le FMGS.

Lorsque le pilote sélectionne une vitesse verticale ou un angle de plan de montée ou de descente, la valeur cible est affichée dans la fenêtre [7] du FCU, en centaines de pieds par minute dans le premier cas, en degrés et dixièmes de degré (les deux chiffres sont séparés par un point) dans le second cas. Un signe + ou - précéde cette indication selon qu'il s'agit d'une montée ou d'une descente.

Il est possible de sélectionner des vitesses verticales comprises entre -6000 ft/mn et +6000 ft/mn (affichage de -60 à +60) ou des angles de plan compris entre -9,9° et +9,9° (affichage de -9.9 à +9.9).

L'indication V/S ou FPA apparaît au FMA. La valeur cible (V/S ou FPA) du FMGS ne s'inscrit pas sur le PFD.

3.4 - Symbologie du directeur de vol.

Le directeur de vol est une fonction du FMGC. A condition d'avoir été engagé par le pilote, le directeur de vol indique les actions à effectuer sur le manche pour obtenir la trajectoire correspondant aux modes et consignes choisis. S'il est engagé, le pilote automatique réalise l'asservissement lui-même.

Il existe deux symbologies différentes des ordres du directeur de vol :

- Si le pilote sélecte le mode de guidage HDG-V/S, le directeur de vol est représenté sur le PFD par deux barres dites "barres croisées" ou "barres de tendance". Le pilote doit agir sur les commandes de façon que les barres restent centrées sur le PFD. Voir figure 9.

- Si le pilote sélecte le mode TRK-FPA, la symbologie est du type vecteur vitesse (FPV) et directeur de trajectoire (FPD). Le pilote doit agir sur les commandes pour faire coïncider le vecteur vitesse et le centre du symbole directeur de trajectoire. Voir figure 10.

4 - Radio-navigation: affichage des moyens et calcul de position FM

4.1 - Sélection des moyens de radio-navigation.

La sélection des balises de radio-navigation peut s'effectuer suivant trois modes :

- automatique (autotuning) : le FMGC choisit les balises à visualiser en fonction du plan de vol et des informations DATABASE;

- manuel : le pilote choisit lui-même les balises à visualiser et les affiche à l'aide d'un MCDU;

- secours : en cas de panne des FMGC ou des MCDU, le pilote choisit et affiche les balises à visualiser à l'aide des RMP (Radio Management Panel).

4.2 - Affichage des informations VOR et DME.

L'A320 est équipé de deux récepteurs VOR (désignés VOR 1 et VOR 2), et de deux interrogateurs DME. La sélection des fréquences DME est automatique et correspond à la fréquence VOR (ou ILS) sélectionnée.

Les informations VOR et DME peuvent être présentées sur les ND et sur l'indicateur DDRMI (Digital Distance and Radio Magnetic Indicator) situé sur la planche de bord centrale, à gauche de l'écran SD de l'ECAM. Voir figure 11.

4.3 - Calcul de position FM.

4.31 - Principe du calcul de la position.

La position FM (Flight Management) est calculée par une série de filtres qui utilisent la position inertielle, la position radio et la vitesse avion comme entrées.

Pour que cette position calculée soit valide, il faut que la position inertielle et la vitesse soient valides. Un biais de position est calculé par le filtre de biais de position comme étant la différence entre la position radio et la position inertielle.

4.32 - Calcul de la position inertielle et de la vitesse.

La position inertielle est égale à la moyenne pondérée des positions calculées par les trois IRS (Inertial Reference System) : c'est la position IRS mixée.

4.33 - Calcul de la position radio.

Pour ses calculs de position, chaque FMGC utilise les informations VOR et DME "ownside" (VOR 1 et DME 1 pour le FMGC 1, VOR 2 et DME 2 pour le FMGC 2).

Les aides radio utilisées par le système proviennent d'une liste des 20 stations DME ou VOR/DME (ou VOR/TACAN) les plus proches. Cette liste est mise à jour au cours du vol à partir de la DATABASE, base de données de navigation (noms des stations sol, fréquences, positions géographiques, portée, ...). Des critères géométriques et opérationnels (cas des stations spécifiées dans les procédures d'approche) permettent au système de choisir le meilleur couple de stations DME et la meilleure station VOR/DME, de vérifier continuellement leur validité, et chaque fois que nécessaire, de choisir de nouvelles stations.

Des tests de validité sont réalisés sur les positions radio et inertielles ainsi que sur la vitesse inertielle.

4.34 - Modes de navigation.

A chaque instant, le système utilise le mode de navigation donnant l'erreur estimée de position la plus faible (le calcul d'erreur est basé sur la position inertielle mixée et la meilleure position radio disponible).

Les modes de navigation possibles sont :

- DME/DME/Inertiel : la position radio est calculée par l'intersection des cercles de position autour de chacune des stations DME utilisées, puis la position radio et la position inertielle sont combinées.

- DME/VOR/Inertiel : la position radio est calculée à partir de la position de la station et des informations d'azimut et distance. La position radio et la position inertielle sont combinées.

- Inertiel pur : aucune position radio n'est utilisée. La position de l'avion est lors déterminée par la position inertielle corrigée du dernier biais calculé avant la perte de validité de la position radio.

- Inertiel/LOC : ce mode de navigation n'utilise pas la position radio. En approche de type LOC (Localizer) ou ILS (Instrument landing System), lorsque le mode de guidage "LOC capture" ou "LOC track" est engagé, les informations d'écart LOC sont utilisées pour recaler la position FM perpendiculairement à l'axe du LOC.

4.35 - Classe de navigation.

Le système détermine (et présente au pilote) la qualité de la navigation selon un critère "High Accuracy" ou "Low Accuracy", dont les seuils sont définis d'après les valeurs établies par les autorités de certification, en fonction de la situation (croisière, zone terminale, approche) et du mode de navigation utilisé.

5- Fonctionnement de l'auto-poussée (Auto-Thrust).

Voir la figure 12.

La fonction Auto-Thrust (A/THR) permet :

- Le maintien d'une vitesse ou d'un nombre de mach, que ce soit en mode managé ou sélecté,

- Le maintien d'une poussée (ralentie ou poussée maximum autorisée suivant les conditions de vol et la position des manettes),

- La protection alpha-floor qui assure la demande de la pleine poussée lorsqu'une condition d'incidence excessive est détectée par les calculateurs FAC.

La fonction A/THR est engagée en appuyant sur le bouton poussoir "A/THR" situé sur le FCU. Elle est dégagée en réappuyant sur le bouton FCU ou en appuyant sur un des deux boutons situés de part et d'autre des manettes, ou en positionnant les manettes sur le cran IDLE.

Engagée, la fonction A/THR possède deux modes de fonctionnement. Elle peut être armée ou active. Lorsque le pilote place les manettes dans la plage MCT - TOGA (Maxi continu, Take-Off Go-Around) la fonction A/THR est armée : elle est prête à assurer un asservissement de vitesse/mach ou de poussée. Lorsque le pilote place les manettes dans la plage IDLE - MCT la fonction devient active : elle agit pour maintenir une poussée ou une vitesse/mach.

Il existe deux types d'asservissement : vitesse/mach (SPEED) ou poussée (THR). Le type d'asservissement réalisé dépend du mode de guidage adopté par le pilote :

- Lorsque le mode longitudinal contrôle un paramètre longitudinal tel que la vitesse verticale (mode V/S) ou la pente de la trajectoire (mode FPA) l'A/THR est en mode vitesse/mach. Le FMGS maintient la vitesse verticale (ou la pente) sélectée au moyen de la gouverne de profondeur et la vitesse (ou le mach) sélectée au moyen de l'A/THR.

- Lorsque le mode longitudinal contrôle une vitesse (en mode OPEN par exemple) l'A/THR est en mode poussée.

6 - Choix du mode de pilotage en fonction de la phase de vol.

Chaque paramètre de vol peut, à tout instant, être managé ou sélecté.

Nous avons vu que le mode manuel était obligatoirement utilisé pour l'exécution du décollage et qu'en cas d'action réflexe, il était préféré aux modes automatiques.

Le mode le plus souvent utilisé dans les autres phases du vol, est le mode managé.

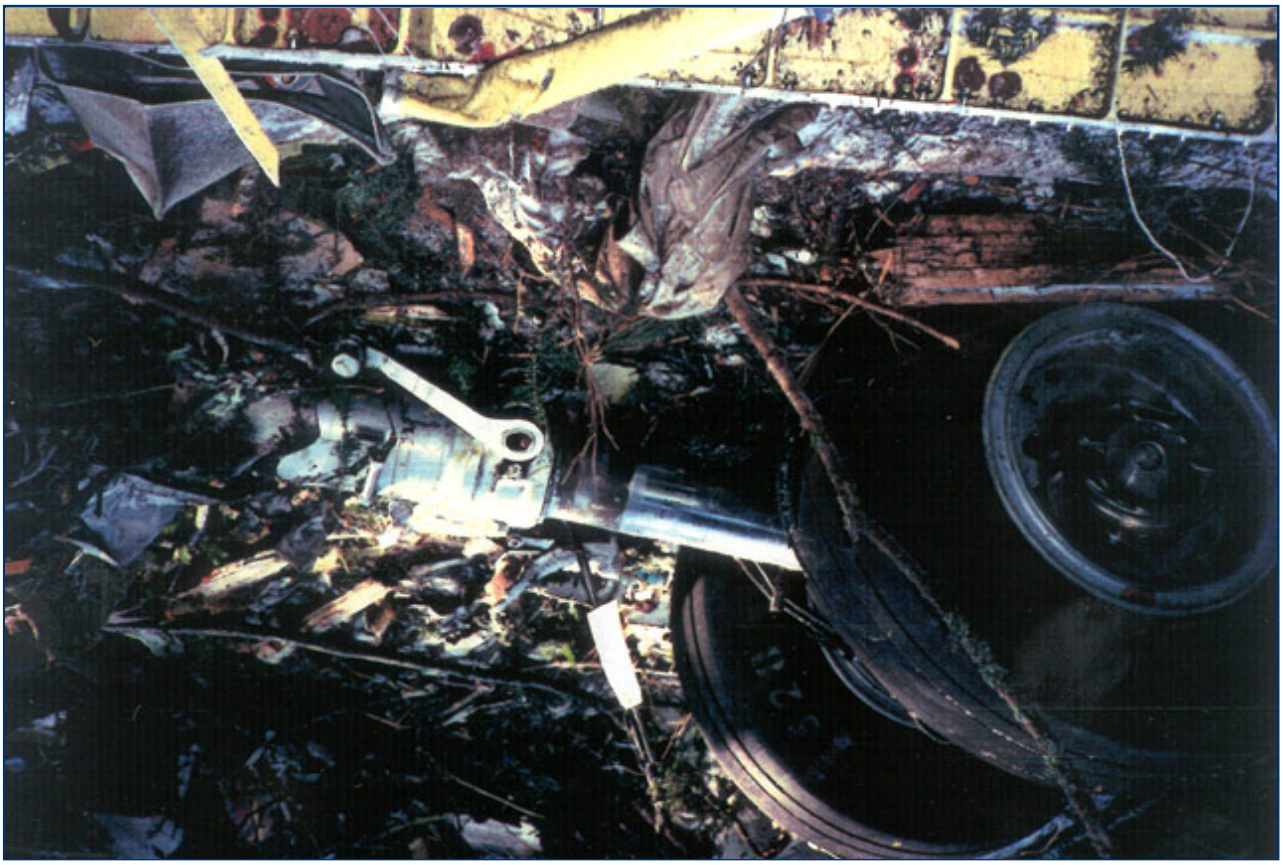
Quant au mode sélecté, il est utilisé en exécution des instructions de guidage radar. Le mode sélecté permet en particulier d'apporter des modifications ponctuelles et temporaires aux données plan de vol sans débrayer le pilote automatique par exemple en approche lors d'un changement de piste tardif, lorsque le temps disponible n'est pas suffisant pour reprogrammer les automatismes.

ANNEXE 16 : Photos de l'épave

Vue au sol du lieu de l'impact (sens inverse du vol)

Vis du plan horizontal réglable.

Cloison pare-feu de l'APU



Jambe de train principal gauche.

Sièges épargnés.

Balise de détresse endommagée.

Partie arrière du fuselage arrachée.